



Ricerca di Sistema elettrico

Utilizzo dei sistemi di smart metering dei consumi idrici per il contenimento delle perdite idriche

Stefano Alvisi e Marco Franchini

UTILIZZO DEI SISTEMI DI SMART METERING DEI CONSUMI IDRICI PER IL CONTENIMENTO DELLE PERDITE IDRICHE

Stefano Alvisi e Marco Franchini (Università di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.6 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: Gestione sostenibile e circolare dell'ambiente urbano

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione

"Utilizzo dei sistemi di smart metering dei consumi idrici per il contenimento delle perdite idriche"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Marco Ferraris

Responsabile scientifico Dipartimento di Ingegneria-Università degli Studi di Ferrara: prof. Stefano Alvisi / prof. Marco Franchini

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA PER L'IDENTIFICAZIONE DELLE PERDITE IDRICHE A LIVELLO DI UTENZA.....	6
3 CARATTERIZZAZIONE DELLO STATO DI PERDITA IDRICA A LIVELLO DI DISTRETTO A PARTIRE DALLE MISURE DEI CONSUMI IDRICI A LIVELLO DI UTENZA.....	16
4 ANALISI DI SENSIBILITÀ AL NUMERO E TIPO DI UTENTI MONITORATI DELLA PROCEDURA PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLO STATO DI PERDITA IDRICA A LIVELLO DI DISTRETTO.....	23
5 CONCLUSIONI.....	28
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	29
7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	31
APPENDICE.....	33

Sommario

Con l'obiettivo di ridurre il sempre crescente divario tra richiesta e disponibilità di acqua e, al contempo, di ottimizzare la gestione delle infrastrutture di approvvigionamento idrico, in questo rapporto vengono presentate alcune metodologie che, a partire dalle serie temporali dei consumi idrici misurati a livello di singola utenza, attraverso i più innovativi sistemi di *smart metering*, consentono di individuare e valutare la dispersione idrica a livello di singolo utente, ovvero a livello di rete di distribuzione. Tali metodologie sono state elaborate e validate tenendo conto delle informazioni di consumo idrico, rilevate presso ciascuna utenza appartenente al laboratorio di campo realizzato a Gorino Ferrarese (FE). Le analisi eseguite per valutare le prestazioni delle metodologie, oltre ad aver consentito di quantificare l'accuratezza dei metodi, hanno messo in evidenza i vantaggi che deriverebbero dall'implementazione di tali procedure non solo in termini di riduzione dei volumi d'acqua dispersi in seguito a riparazioni tempestive, ma anche in termini di salvaguardia delle risorse energetiche connesse alla potabilizzazione dell'acqua e al suo eventuale pompaggio in rete.

1 Introduzione.

Con riferimento all'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Università di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria per l'attività di ricerca dal titolo: "Caratterizzazione e monitoraggio dei consumi idrici residenziali per la gestione ottimizzata della distribuzione", inserito nell'ambito del Progetto: D.6 "Utilizzo dei sistemi di smart metering dei consumi idrici per il contenimento delle perdite idriche" dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA Piano Annuale di Realizzazione 2017, si raccoglie nel presente documento il rapporto sulle attività svolte al 30 settembre 2018. In particolare, tali attività riguardano la proposta di alcune metodologie che, sfruttando le serie temporali dei consumi idrici delle utenze, registrate con i più moderni sistemi di monitoraggio in tempo reale, consentono di ridurre l'impresso in una rete di distribuzione idrica, valutando in continuo temporale lo stato di perdita idrica sia a livello di singola utenza, sia a livello di rete di distribuzione. Infatti, in una situazione in cui è divenuto di primaria importanza garantire l'equilibrio tra la sempre crescente richiesta idrica, dovuta al continuo aumento della popolazione e dello sviluppo socio-tecnologico, e la sempre più limitata disponibilità, il contenimento delle perdite idriche a diversi livelli gioca un ruolo chiave per una gestione sostenibile dell'intero sistema idrico. L'implementazione all'interno delle più innovative infrastrutture di *smart metering* di algoritmi in grado di caratterizzare il livello di perdita idrica può fornire al gestore del sistema idrico la possibilità di ottimizzare la gestione della rete di distribuzione di propria competenza, aumentando l'efficienza dell'attuale sistema di approvvigionamento idrico, affetto da profonde carenze strutturali, e di segnalare agli utenti la presenza di fughe d'acqua interne alle abitazioni, consentendo loro di risparmiare una notevole quantità di acqua oltre che di acquisire una maggiore consapevolezza in merito ai propri consumi. Dal contenimento delle perdite idriche e di conseguenza dell'impresso in rete, ne discende la sistematica riduzione dei consumi energetici legati a tutti i processi acquedottistici (potabilizzazione, pompaggio e trasferimento in rete, ecc.) imprescindibili per recapitare l'acqua fino al punto di consegna agli utenti.

In particolare, nel presente studio dapprima viene proposta una metodologia che consente di identificare, a partire dalle serie temporale dei consumi così come fornita dai sistemi di *smart metering*, l'eventuale presenza di perdite idriche nella rete interna all'utenza, quindi a valle del contatore (capitolo 2). Nello specifico, la procedura sulla base dell'andamento a passo orario dei consumi idrici incrementali permette di fornire in automatico un segnale di allerta al gestore del sistema idrico integrato e quindi di consentire la notifica della probabile formazione di una perdita idrica nella rete interna all'utente. Il sistema nel suo complesso consente quindi un contenimento delle perdite idriche a livello di utenza con conseguenti benefici in termini di salvaguardia della risorsa idrica e dei consumi energetici connessi al trattamento dell'acqua e al suo eventuale pompaggio in rete.

Successivamente, dopo aver analizzato le principali tecniche che, a livello internazionale, vengono utilizzate per quantificare le perdite reali e gli indicatori di performance di un sistema di distribuzione idrico su lunghi orizzonti temporali (su base annua), viene definita la procedura che a partire dalle serie temporali dei consumi idrici misurati a livello di utenza, combinata con le serie temporali delle portate entranti e eventualmente uscenti da un distretto idrico, nonché dei volumi accumulati/rilasciati da eventuali serbatoi presenti nel distretto, tramite bilancio consente di quantificare in continuo temporale il livello di perdita idrica all'interno del distretto stesso (capitolo 3). Tale informazione, combinata con le caratteristiche del distretto (lunghezza della rete, numero di allacci, ecc.), consente di quantificare gli indicatori per la valutazione delle prestazioni della rete di distribuzione con una frequenza maggiore, permettendo al gestore, a seconda delle criticità evidenziate, di pianificare con continuità temporale, le azioni di ricerca e di mitigazione delle perdite di rete ovvero di mantenere costantemente sotto controllo la dispersione idrica all'interno del generico distretto. Tuttavia, poiché in un assegnato distretto potrebbero non essere monitorate in tempo reale tutte le utenze, a causa ad esempio di malfunzionamenti del sistema di *smart metering*, ovvero in conseguenza a scelte effettuate dal gestore sulla base di valutazioni economiche e gestionali, a conclusione del presente studio viene anche valutata l'accuratezza della procedura per la valutazione delle perdite reali in rete al variare del numero e della tipologia di utenze interne al distretto monitorate (capitolo 4). Infine vengono delineate le principali conclusioni (capitolo 5).

Al fine di valutare le prestazioni di ciascuna delle procedure proposte, vengono presentate alcune analisi svolte utilizzando misure di campo raccolte presso la rete di distribuzione di Gorino Ferrarese (FE), gestita da CADF S.p.A. nell'ambito del progetto GST4Water finanziato attraverso il bando per progetti di ricerca industriale strategica rivolti agli ambiti prioritari della [Strategia di Specializzazione Intelligente - POR-FESR 2014-2020](#).

2 Sviluppo di una metodologia per l'identificazione delle perdite idriche a livello di utenza.

Negli ultimi anni è divenuto di primaria importanza garantire l'equilibrio tra la richiesta e la disponibilità idrica. Del resto, il continuo aumento della popolazione mondiale incide fortemente sulla domanda idrica globale. Le più recenti previsioni stimano una graduale crescita della popolazione fino alla fine del secolo corrente [1] con implicazioni sulla richiesta idrica residenziale ovvero sulla componente predominante dell'intero approvvigionamento idrico [2]. Parallelamente, il costante innalzamento della temperatura altera considerevolmente il naturale ciclo idrologico con gravi conseguenze sulla disponibilità idrica. Per soddisfare la sempre crescente richiesta da parte delle utenze, le più recenti politiche gestionali incentivano l'adozione di strategie volte a conservare e salvaguardare la risorsa idrica che esulano dalla realizzazione di nuove opere idrauliche per accedere a fonti idriche alternative, consentendo un notevole risparmio in termini economico-ambientali [3]. Tra le varie tecniche che concorrono a una gestione sostenibile della risorsa idrica, il contenimento delle perdite, a diversi livelli, gioca un ruolo fondamentale. Nella letteratura tecnico scientifica, negli ultimi decenni, sono stati presentati moltissimi studi e metodologie per caratterizzare e quantificare le perdite idriche. Alcuni studi [4-6] stimano che più di un terzo dell'acqua potabile viene persa durante la fase di trasferimento dai sistemi di potabilizzazione agli utenti; mentre a livello di singole utenze la stima delle perdite idriche oscilla tra il 2 e il 13 % della richiesta idrica totale a uso residenziale. Tuttavia, la maggior parte degli studi condotti affrontano il tema dell'identificazione delle perdite idriche a scala di rete [7]. Per contro, risultano ancora limitati gli studi che trattano tale questione con riferimento alla riduzione delle perdite a livello di utenza, ovvero nella rete interna a valle del contatore. Quest'ultime, se valutate individualmente, possono rappresentare una quantità irrisoria ma, considerate collettivamente e sul lungo periodo, rappresentano la dispersione di un notevole volume d'acqua [8], come sopra accennato. In tale scenario, i più innovativi sistemi di *smart metering* dei consumi idrici, emergenti oggi grazie ai recenti sviluppi offerti dal settore dell'*Information Communication Technology* (ICT), costituiscono un'effettiva opportunità per individuare e contenere le perdite idriche sia a livello di distretto idraulico che a livello di singola utenza. Infatti, permettendo il rilevamento, a elevata risoluzione temporale, dei dati di consumo in tempo reale, la loro archiviazione ed elaborazione, consentono al gestore del Servizio Idrico Integrato (SII) di ottimizzare la gestione delle reti idriche di propria competenza, rilevando in tempo reale le perdite idriche, minimizzandone la durata e pianificando gli interventi di manutenzione in maniera efficiente [9]. Per di più, consentendo anche la restituzione pressoché in continuo delle informazioni agli utenti, quali ad esempio *feedback* relativi al proprio andamento di consumo e suggerimenti in merito a pratiche personalizzate di risparmio idrico [10-12], permettono al gestore di indurre gli utenti del SII ad acquisire comportamenti virtuosi e a evitare inutili sprechi dovuti a perdite interne alle proprie abitazioni e pertanto a incidere sulla riduzione della richiesta idrica con effetti, seppur marginali nel breve periodo, decisamente consistenti a lungo termine [13]. Attualmente, le perdite occulte a valle dei dispositivi di misura d'utenza vengono individuate dagli utenti principalmente qualora siano notevolmente percettibili e/o visibili, data l'impossibilità dei tradizionali contatori di tipo meccanico, costituenti la maggior parte del parco contatori italiano, di fornire in caso di presenza di fughe d'acqua un avviso ai gestori e/o direttamente ai consumatori. Tuttavia di recente, grazie alla sempre crescente sperimentazione delle tecniche di monitoraggio in tempo reale nel settore acquedottistico, i gestori del SII pongono il loro interesse nei più moderni smart meter, i più evoluti dei quali sono in grado di identificare le perdite idriche attraverso semplici algoritmi implementati all'interno delle

unità di elaborazione di cui sono provvisti [14-15] e di registrare e inviare un messaggio di allarme. Tali algoritmi prevedono che i contatori intelligenti vengano settati con apposite variabili quali l'intensità massima della portata oraria e il numero minimo di ore durante le quali si può verificare una richiesta idrica di tale entità (altrimenti considerate nella versione di *default*). Chiaramente, questo aspetto implica una scarsa accuratezza nell'identificazione delle perdite idriche a causa della forte dipendenza dei consumi da diversi fattori quali ad esempio le caratteristiche del nucleo familiare, le abitudini e le esigenze degli utenti, le caratteristiche delle abitazioni (presenza di impianti di irrigazione e o di impianti idrici dotati di autoclave), ecc. Pertanto ciascun dispositivo di misura dovrebbe essere programmato adottando appositi parametri, da fissare e variare solo a seguito di un'accurata analisi dei consumi caratteristici di ciascuna utenza e di tutte le variabili che influenzano i consumi idrici, non necessariamente note ai gestori. Ciononostante, nel caso di piccole perdite, inferiori rispetto al consumo domestico legato a qualsivoglia attività svolta all'interno dell'utenza, tale approccio risulterebbe comunque insufficiente.

Oltre agli smart meter, per identificare le perdite interne alle utenze, sul mercato di settore è possibile individuare anche alcuni *software*, quale Trace Wizard® [16], realizzato allo scopo di disaggregare i consumi idrici d'utenza ad alta risoluzione temporale e che pertanto, fra gli usi finali dell'acqua potabile, classifica anche gli eventi di perdita. Tuttavia, come indicato in letteratura, tale applicativo risulta oneroso in termini di tempo e risorse in quanto, a monte, richiede una fase di calibrazione in cui devono essere realizzati modelli specifici che tengano conto dei fattori che influenzano i consumi [17]. Ciò implica che, utenza per utenza, debbano essere raccolte informazioni attraverso *audit* e diari, prevedendo quindi anche il coinvolgimento degli utenti, e conducendo, in tutti i casi, a una qualità dell'*output* finale fortemente influenzata dall'interpretazione dei dati elaborati da parte dell'analista.

Per superare tali criticità e concorrere alla riduzione delle perdite idriche a valle dei contatori intelligenti, in questo studio viene proposta una metodologia che consente di identificare le fughe d'acqua, a partire dalla sola conoscenza delle serie temporali dei consumi idrici delle utenze così come fornite dai più moderni sistemi di *smart metering*. Tale procedura è stata elaborata e validata tenendo conto delle informazioni di consumo idrico, rilevate nell'ambito del progetto GST4Water, presso il laboratorio di campo realizzato a Gorino Ferrarese (FE), la gestione della rete idrica del quale è di competenza C.A.D.F. S.p.A. L'area in questione, già definita nell'ambito del precedente rapporto (lavoro in cui è stato proposto un sistema di monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici e ne sono stati valutati i benefici derivanti), consiste in una piccola località situata nel Parco del Delta del Po (Figura 1), avente un'estensione di poco superiore ai 3 Km² e in cui risiedono all'incirca 650 abitanti. A tale popolazione corrisponde un numero di utenze pari a 293 delle quali 276 di tipo residenziale e 17 appartenenti a servizi pubblici e ad attività commerciali o turistiche.



Figura 1. Inquadramento territoriale della frazione di Gorino Ferrarese (FE).

A seguito dell'installazione, da parte dell'ente gestore, di *smart meter* di tipo elettromagnetico in corrispondenza di ciascuna utenza, tenutasi nella primavera 2016, è stata avviata una campagna di raccolta dati, avvalendosi di un sistema di tipo *Remote Meter Reading* (RMR) in modalità *Walk-by* che ha consentito di disporre delle serie temporali a passo orario del volume cumulativo (consumo totalizzato) di tutte le utenze, fino a marzo 2018. Allo scopo di implementare una metodologia per l'identificazione automatica delle perdite idriche interne alle utenze domestiche, tutti i dati raccolti sono stati sottoposti a una fase preliminare di pulizia e *pre-processing*. Nello specifico, l'intero *data-set* è stato depurato delle informazioni di consumo relative alle utenze commerciali (aventi un andamento di consumo molto diverso da quello delle utenze residenziali e fortemente variabile a seconda della tipologia di utenza considerata) e delle informazioni di consumo registrate da contatori che, a causa di un difetto di fabbrica, hanno registrato valori decrescenti del volume cumulativo. Complessivamente per lo studio sono quindi risultate utili le serie temporali della richiesta idrica di 193 utenze residenziali per il periodo compreso tra il 29 giugno 2016 e il 9 gennaio 2018. Tali serie sono state quindi pre-elaborate al fine di ricavare le serie temporali a passo orario della portata (consumo incrementale) di ciascun'utenza ed esaminate attraverso l'analisi visiva e manuale di un operatore esperto, al fine di caratterizzare l'andamento di consumo idrico, combinando per ciascuna utenza le osservazioni provenienti dall'analisi dell'andamento nel tempo del consumo totalizzato con quelle derivanti dall'andamento nel tempo del consumo incrementale. Come mostra l'andamento della richiesta idrica incrementale dell'utenza A, riportata in Figura 2, la maggior parte delle utenze residenziali ha mostrato un comportamento di consumo standard, tipico delle utenze di tipo domestico, in cui i momenti di maggior consumo, che si verificano principalmente nelle ore diurne, sono intervallati da momenti in cui il consumo diminuisce, arrivando ad assumere anche valori nulli, come accade nelle ore notturne.

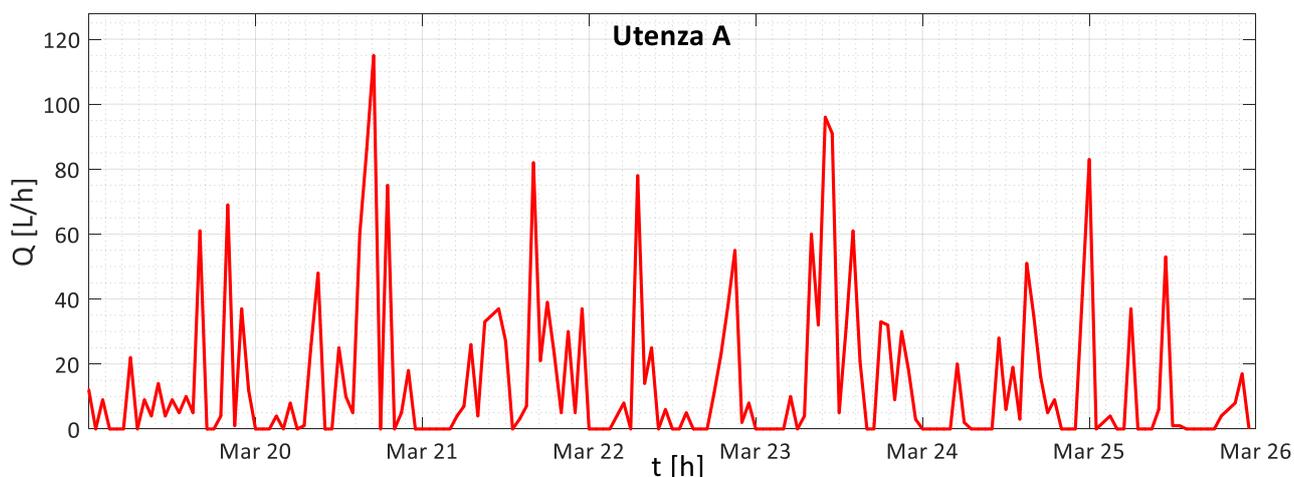


Figura 2. Andamento orario del consumo idrico di un'utenza residenziale.

Per contro, per alcune utenze residenziali sono stati identificati comportamenti anomali di consumo, dovuti alla presenza di fughe d'acqua interne alle abitazioni. In particolare sono state individuate diverse tipologie di fughe d'acqua, differenti tra loro per entità e comportamento: da quelle di grossa entità, imputabili a rotture delle condutture, come nel caso dell'utenza B riportata in Figura 3a, fino alle piccole perdite dovute a un non corretto funzionamento degli impianti igienico-sanitari, come nel caso dell'utenza C mostrata in Figura 3b. In totale, durante il periodo in esame, sono state individuate 192 fughe d'acqua delle quali 54 corrispondenti a perdite di intensità superiore ai 10 L/h e 138 corrispondenti a perdite comprese tra 1 e 10 L/h. In realtà, poiché nella fase iniziale della campagna di raccolta dati si è proceduto a un monitoraggio dei consumi delle utenze con una risoluzione temporale di 5 minuti, nel periodo compreso tra fine giugno 2016 e gennaio 2017, è stato possibile individuare anche 84 perdite di entità inferiore a 1 L/h. Perdite di tale entità sono state identificate dall'operatore esperto unicamente grazie alla possibilità di analizzare serie temporali a passo fine. Al contrario, disponendo di dati caratterizzati da una minore risoluzione temporale (quali ad esempio quelli a passo orario) e tenuto conto della precisione degli *smart meter* installati, in grado

al minimo di rilevare e registrare una variazione del volume cumulativo di 1 L, perdite di così piccola entità non sarebbero state identificate nemmeno attraverso l'analisi manuale e visiva.

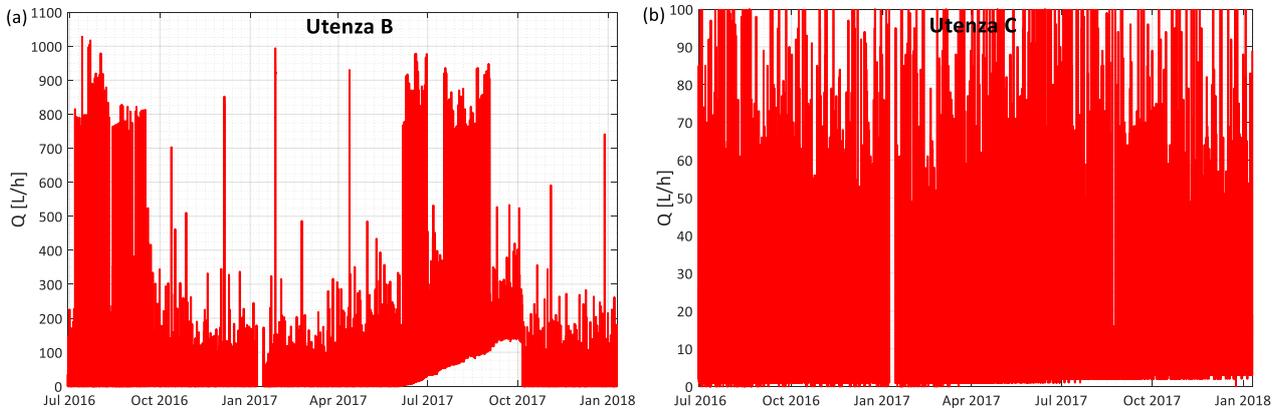


Figura 3. (a) Andamento nel tempo della portata oraria di un'utenza caratterizzata da una grossa fuga d'acqua e (b) andamento nel tempo della portata oraria di un'utenza caratterizzata da una piccola fuga d'acqua.

Inoltre, tenendo conto dei risultati ottenuti attraverso l'analisi manuale e visiva, è stato realizzato il *benchmark* a passo giornaliero da utilizzare come riferimento per valutare l'accuratezza dell'algoritmo per l'identificazione automatica delle fughe d'acqua. In particolare, come mostra la Tabella 1, per ciascun'utenza e per ciascuno dei giorni del periodo di riferimento è stato definito il livello di perdita idrica contrassegnando con 0 l'assenza di perdita (celle verdi), con 1 la presenza di perdite fino ai 10 L/h (celle gialle) e con 2 le perdite idriche superiori ai 10 L/h (celle rosse).

Tabella 1. Benchmark dell'utenza B in cui giornalmente è stata riportata l'assenza (caselle verdi contrassegnate dallo 0) ovvero la presenza di una perdita idrica interna all'utenza (caselle gialle contrassegnate da 1 per le perdite fino a 10 L/h e caselle rosse contrassegnate da 2 per le perdite superiori a 10 L/h).

Utenza B		GIORNI																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
A N N O 2 0 1 7	maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	giugno	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
	luglio	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	agosto	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	settembre	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	
	ottobre	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
novembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-		

Oltre a rappresentare un utile informazione per realizzare l'analisi visiva delle informazioni raccolte, i dati pre-elaborati rappresentano anche l'unico *input* necessario alla metodologia per l'identificazione automatica delle perdite idriche interne alle utenze. Infatti, l'algoritmo pragmatico implementato consente di generare e aggiornare giornalmente un segnale di allarme per notificare la probabile presenza di una fuga d'acqua, sulla base delle serie temporali dei consumi incrementali. In particolare, la metodologia si basa sul fatto che che l'andamento dei consumi idrici residenziali solitamente presenta nell'arco della giornata momenti in cui si ha una maggior richiesta (tipicamente le ore diurne) alternati a momenti in cui il consumo diminuisce (generalmente durante le ore notturne). Per contro la presenza di una fuga d'acqua determina una portata continua in ingresso all'utenza, ovvero un consumo incrementale che non si annulla mai durante l'intera giornata. In particolare, sono stati considerati due diversi algoritmi per controllare l'annullamento della portata oraria di ciascuna utenza: il primo controlla l'andamento dei consumi incrementali nelle ore notturne comprese tra le 02:00 e le 05:00, il secondo valuta l'andamento dei

consumi incrementali durante l'intera giornata. Pertanto, se la portata oraria di una data utenza domestica non si annulla mai durante le ore di minimo consumo, ovvero durante l'intera giornata, l'algoritmo classifica l'andamento di consumo di quella stessa utenza come un comportamento caratterizzato da una probabile fuga d'acqua. Viceversa qualora la portata si annulli almeno una volta durante le ore di minimo consumo, ovvero durante l'intera giornata, l'algoritmo classifica l'andamento di consumo dell'utenza come un corretto funzionamento degli impianti idraulici e degli apparecchi igienico-sanitari.

L'algoritmo pragmatico per l'identificazione automatica delle fughe d'acqua interne alle utenze, a differenza del software Trace Wizard® sopracitato, oltre a non richiedere alcuna fase iniziale di *training*, non necessita nemmeno della valutazione di utenti esperti e pertanto non risulta influenzato dall'arbitrarietà umana.

Per valutare le *performance* dell'algoritmo per l'identificazione automatica delle fughe d'acqua interne alle utenze, sono stati dapprima quantificati, per ciascun'utenza, il numero di giorni di perdita reale identificata dall'algoritmo (veri positivi-*VP*), quelli di reale assenza di perdita (veri negativi-*VN*), quelli di perdita inesistente erroneamente segnalata dall'algoritmo considerato (falsi positivi-*FP*) e infine i giorni di perdita reale non segnalata (falsi negativi-*FN*). Successivamente, le valutazioni sono state condotte considerando l'insieme delle utenze esaminate ed è stata ricavata la matrice di confusione (Tabella 2).

Tabella 2. Matrice di confusione ottenuta tenendo conto dell'insieme delle utenze.

		<i>Benchmark</i>	
		Presenza perdita	Assenza perdita
<i>Algoritmo</i>	Presenza		
	Perdita	<i>VP</i>	<i>FP</i>
	Assenza		
	perdita	<i>FN</i>	<i>VN</i>

$TOT=VP+FP+VN+FN$

Inoltre, sempre con riferimento all'insieme delle utenze considerate, è stato determinato il numero totale di giorni di perdita (*VP+FN*), il numero totale di giorni caratterizzati da un corretto funzionamento degli impianti idraulici e degli apparecchi igienico-sanitari (*VN+FP*), il numero totale di giorni di perdita segnalati dall'algoritmo (*VP+FP*) e il numero totale di giorni durante i quali l'algoritmo ha segnalato un corretto funzionamento degli impianti idraulici e degli apparecchi igienico-sanitari (*VN+FN*). Successivamente, per valutare la bontà dei risultati ottenibili applicando il metodo pragmatico, sull'insieme delle utenze sono state calcolate alcune metriche ovvero *Accuracy*, *Recall*, *Specificity* e *Precision* rispettivamente definite come [18-19]:

$$Accuracy = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad 12 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

$$Recall = \frac{VP}{VP + FN} \quad 34 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

$$Specificity = \frac{VN}{FP + VN} \quad 56 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

$$Precision = \frac{VP}{VP + FP} \quad 78 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

La prima metrica rappresenta il tasso di segnalazioni corrette fornite in totale dall’algoritmo e pertanto consente di definire le prestazioni complessive del metodo; le altre, invece, consentono di quantificare quanto l’algoritmo pragmatico sia in grado di discriminare tra presenza e assenza di perdita. Nello specifico, *Recall* quantifica la capacità dell’algoritmo di identificare gli allarmi fornendo la frazione di veri allarmi correttamente identificati dall’algoritmo rispetto al totale degli allarmi di perdita. In maniera duale, *Specificity* rappresenta la capacità dell’algoritmo di identificare i giorni caratterizzati da un funzionamento corretto degli impianti interni all’utenza, fornendo la frazione dei giorni caratterizzati da assenza di perdita correttamente identificati dall’algoritmo rispetto al totale dei giorni attesi caratterizzati da un corretto funzionamento degli impianti idraulici e degli apparecchi igienico-sanitari. Infine *Precision* quantifica la capacità dell’algoritmo di evitare falsi allarmi, essendo dato dal rapporto tra il numero di veri allarmi identificati dall’algoritmo rispetto al numero totale di allarmi segnalati dallo stesso. Al fine di valutare con un’unica metrica le capacità dell’algoritmo di discriminare tra giornate affette o meno da perdite idriche è stato introdotto l’indice F_1 , dato dalla media armonica di *Recall* e *Precision* ovvero:

$$F_1 = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

910* MERGEFORMAT ()

Tanto più l’algoritmo è efficace tanto più gli indici *Accuracy*, *Recall*, *Specificity*, *Precision* e F_1 assumono valori prossimi a 1.

Il calcolo della matrice di confusione e la valutazione delle metriche è stata effettuata sia per l’algoritmo in cui si valuta il non annullamento della portata nelle sole ore notturne, sia per l’algoritmo in cui si considerano tutte le 24 ore del giorno e i corrispondenti risultati sono sintetizzati rispettivamente in Tabella 3a e Tabella 3b. Nello specifico, confrontando la Tabella 3a, in cui sono stati riportati i risultati in termini di *VP*, *VN*, *FP* e *FN* (e loro combinazioni) relativamente all’algoritmo che valuta l’andamento dei consumi incrementali esclusivamente nelle ore di minimo consumo, con la Tabella 3b, in cui sono state riportate le stesse quantità ottenute confrontando il *benchmark* di riferimento con i risultati dell’algoritmo che valuta l’andamento della portata nell’arco dell’intera giornata, è immediato osservare una lieve discrepanza nella quantità totale dei giorni classificati. In particolare mentre l’algoritmo che controlla la portata oraria nelle ore notturne classifica in totale 102786 giorni, l’algoritmo che compie le stesse valutazioni durante le 24 ore del generico giorno in totale riesce a classificare 12 giornate in meno. Tale differenza, che chiaramente si riflette sulla somma delle quantità $VP+FN$ e $VN+FP$ ovvero sulla somma di $VN+FN$ e $VP+FP$, è legata alla presenza di dati orari mancanti in alcune ore diurne che non consentono all’algoritmo di valutare l’annullamento o meno di tutti i valori di portata nell’arco delle intere giornate in questione.

Tabella 3. Matrice di confusione ottenuta applicando la metodologia che valuta la presenza delle perdite considerando (a) le ore di minimo consumo (b) tutte le 24 ore del giorno.

(a)		Benchmark		(b)		Benchmark	
		Presenza perdita	Assenza perdita			Presenza perdita	Assenza perdita
Algoritmo 2 - 5	Presenza perdita	<i>VP</i> =18896	<i>FP</i> =5990	Algoritmo 0 - 24	Presenza perdita	<i>VP</i> =18211	<i>FP</i> =718
	Assenza perdita	<i>FN</i> =199	<i>VN</i> =77701		Assenza perdita	<i>FN</i> =880	<i>VN</i> =82965
		<i>TOT</i> = <i>VP</i> + <i>FP</i> + <i>FN</i> + <i>VN</i> =102786				<i>TOT</i> = <i>VP</i> + <i>FP</i> + <i>FN</i> + <i>VN</i> =102774	
		<i>VP</i> + <i>FN</i> =19095				<i>VP</i> + <i>FN</i> =19091	
		<i>VN</i> + <i>FP</i> =83691				<i>VN</i> + <i>FP</i> =83683	
		<i>VP</i> + <i>FP</i> =24886				<i>VP</i> + <i>FP</i> =18929	
		<i>VN</i> + <i>FN</i> =77900				<i>VN</i> + <i>FN</i> =83845	

Con riferimento all’algoritmo che ricerca i valori nulli di portata esclusivamente nelle ore notturne e alle metriche stimate, in Tabella 4 si evince come nel complesso esso riesca a compiere classificazioni corrette, restituendo un valore di *Accuracy* di 0,94. *Recall* assume un valore di 0,99, dimostrando che quasi tutti gli allarmi reali vengono individuati dall’algoritmo. Analogamente, *Specificity* assume un valore di 0,93 sottolineando che all’incirca tutti i casi di effettivo funzionamento corretto degli impianti idraulici e igienico-sanitari vengono adeguatamente classificati dall’algoritmo. Inoltre, *Precision* assume un valore di 0,73 e complessivamente F_1 vale 0,86. Invece, applicando l’algoritmo che controlla il non annullamento della portata oraria nell’arco dell’intera giornata, si riscontra un aumento di *Accuracy* (0,98), essendo aumentato consistentemente il numero di casi di perdite inesistenti correttamente classificate dall’algoritmo (VN da 77701 a 82965) ovvero essendosi ridotto il numero di perdite inesistenti erroneamente segnalate dall’algoritmo (FP da 5990 a 718).

Tabella 4. Valori delle metriche ottenute mediante l’algoritmo in cui viene valutato l’annullamento della portata oraria nelle sole ore notturne tra le 2 e 5 di mattina (prima colonna) e nell’arco dell’intera giornata (seconda colonna).

-	2 – 5	0 – 24
Accuracy	0,94	0,98
Recall	0,99	0,95
Specificity	0,93	0,99
Precision	0,73	0,96
F_1	0,86	0,96

Tale riduzione dei falsi allarmi è conseguente alla valutazione della portata oraria in un più ampio intervallo temporale. Al fine di chiarire in maniera opportuna il beneficio in termini di falsi positivi ottenibile applicando l’algoritmo pragmatico che opera sulle 24 ore giornaliere, in Figura 4a viene mostrato l’andamento orario del consumo incrementale dell’utenza D, mentre in Figura 4b e Figura 4c vengono riportati rispettivamente i risultati ottenuti (in termini di *VP*, *VN*, *FP* e *FN*) confrontando il *benchmark* di riferimento con la classificazione effettuata dall’algoritmo che controlla il consumo dell’utenza nelle sole ore notturne tra le 2 e le 5 ovvero durante l’intera giornata.

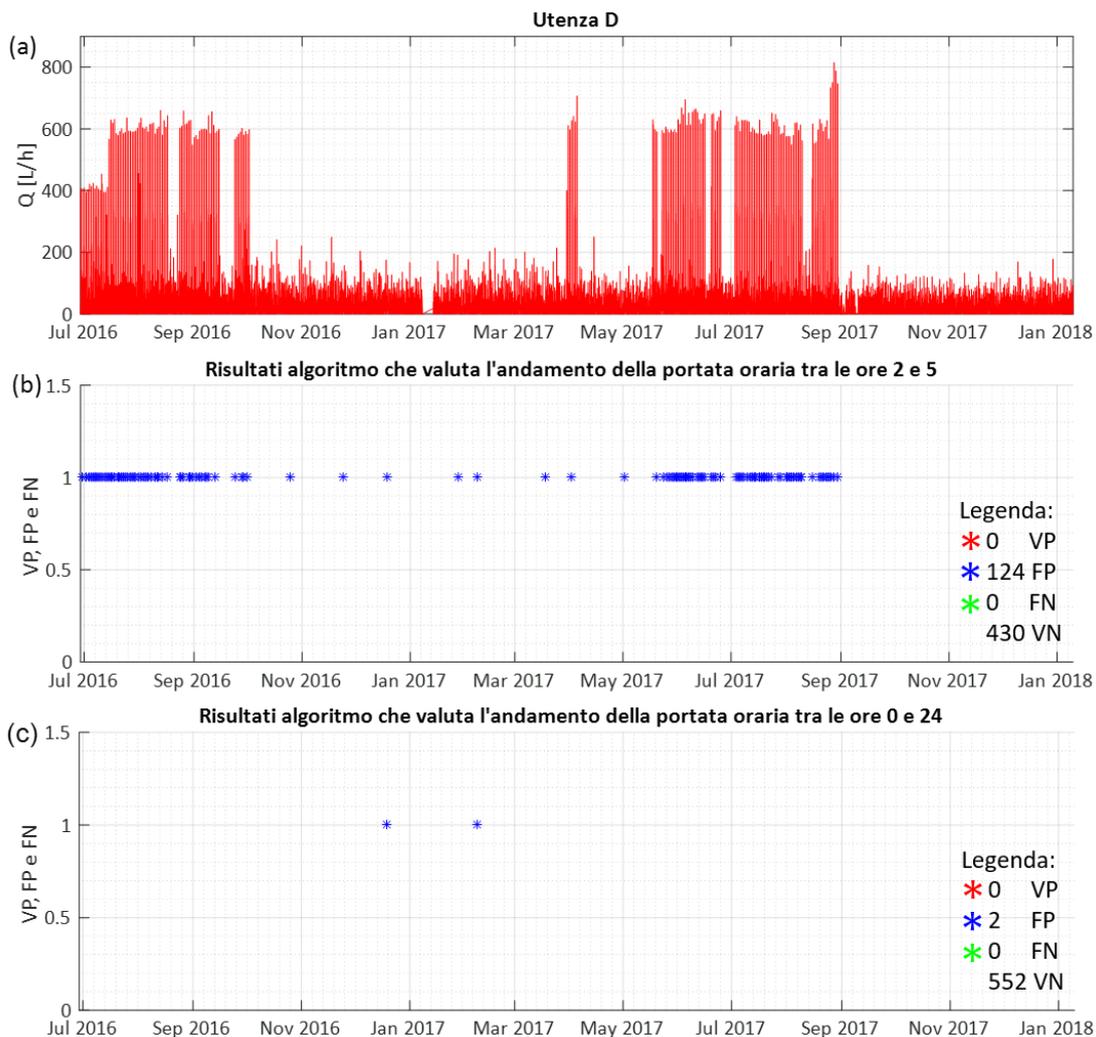


Figura 4. (a) Andamento nel tempo della portata oraria dell'utenza D e risultati in termini di VP, FP e FN derivanti dal confronto tra il benchmark di riferimento e l'algoritmo che controlla il non annullamento della portata oraria (b) tra le ore 2 e 5 e (c) tra le ore 0 e 24.

In generale, osservando l'andamento della portata oraria dell'utenza D è immediato evidenziare come l'utenza sia caratterizzata da un sensibile aumento dei consumi idrici nei periodi estivi, verosimilmente imputabile all'utilizzo dell'impianto di irrigazione. Nel dettaglio, per tutta la durata dei periodi estivi, la richiesta idrica dovuta all'impianto di irrigazione dell'utenza D, avente picchi di oltre i 600 L/h, si manifesta regolarmente nelle prime ore della mattina (tra le 2 e le 5). Chiaramente l'approccio che valuta l'andamento del consumo incrementale tra le 2 e 5 del mattino, in questo caso genera dei segnali di allarme giornalieri (124 asterischi blu di Figura 4b), confondendo un reale consumo idrico con una fuga d'acqua interna all'utenza. Diversamente, avendo la capacità di valutare l'andamento del consumo orario incrementale nelle 24 ore giornaliere, l'approccio che valuta l'andamento del consumo incrementale durante l'intera giornata non commette lo stesso equivoco e restituisce un numero di falsi allarmi nettamente inferiore (equivalente ai 2 asterischi blu di Figura 4c). Comprensibilmente, la riduzione dei falsi allarmi implica anche un incremento delle metriche *Specificity* e *Precision* che assumono rispettivamente un valore di 0,99 e 0,96. Per contro, tale approccio consente di conseguire risultati lievemente meno accurati in termini di veri allarmi identificati e pertanto il tasso di perdite reali correttamente classificate diminuisce (*Recall* pari a 0,95) in conseguenza alla riduzione delle perdite reali identificate dall'algoritmo (*VP* da 18896 a 18211) ovvero all'aumento dei giorni di perdita reale non segnalata (*FN* da 199 a 880). Al fine di comprendere al meglio la causa dell'incremento del numero dei falsi negativi che si determina applicando l'algoritmo pragmatico che opera sulle 24 ore giornaliere si osservi la Figura 5.

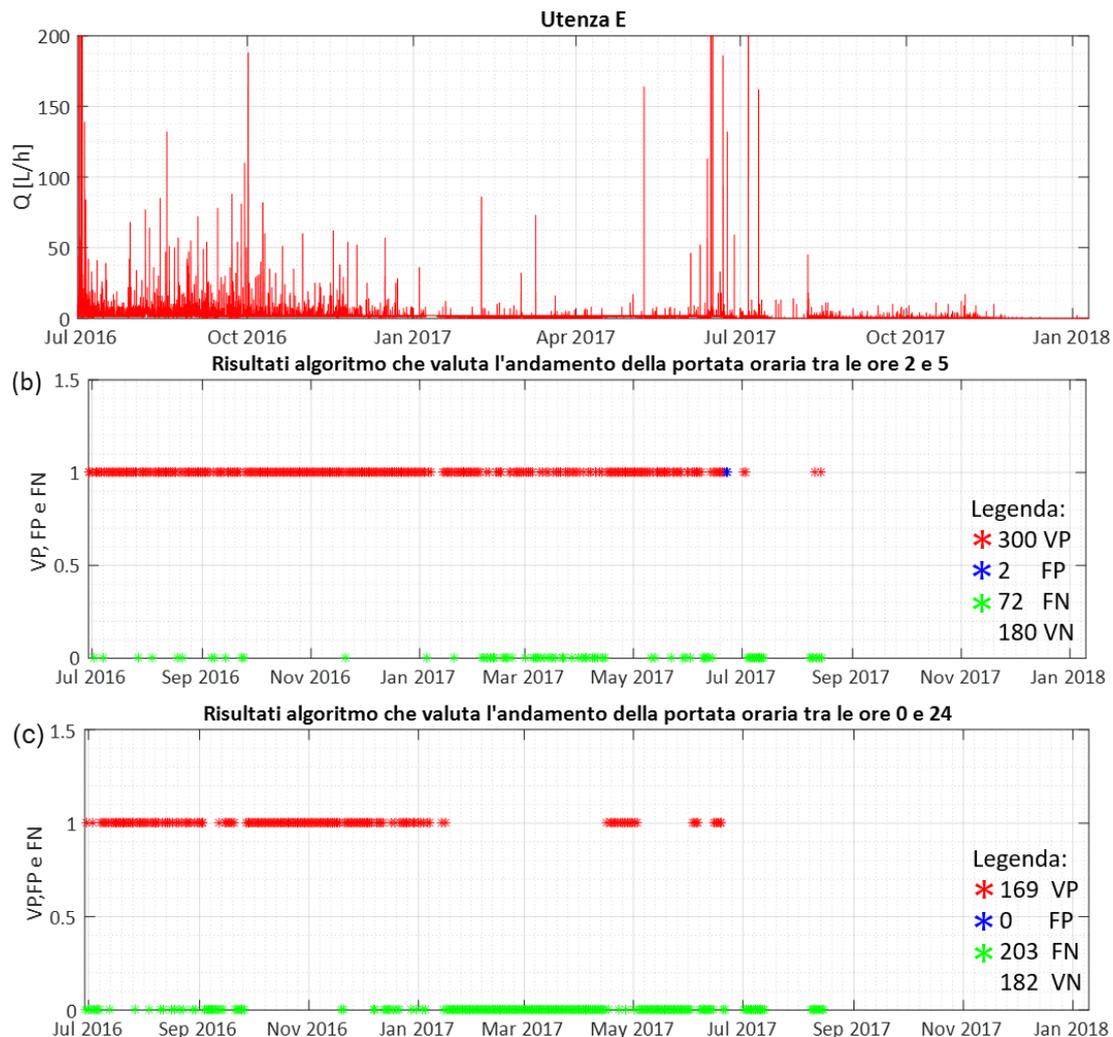


Figura 5. (a) Andamento nel tempo della portata oraria dell'utenza E e risultati in termini di VP, FP e FN derivanti dal confronto tra il benchmark di riferimento e l'algoritmo che controlla il non annullamento della portata oraria (b) tra le ore 2 e 5 e (c) tra le ore 0 e 24.

In particolare, in Figura 5a viene mostrato l'andamento orario del consumo incrementale dell'utenza E, mentre in Figura 5b e Figura 5c vengono riportati rispettivamente i risultati ottenuti (in termini di VP, VN, FP e FN) confrontando il benchmark di riferimento con la classificazione effettuata dall'algoritmo che controlla il consumo dell'utenza nelle sole ore notturne tra le 2 e le 5 (b), ovvero durante l'intera giornata (c). Nello specifico, per quanto concerne l'utenza E, caratterizzata da consumi ridotti rispetto all'utenza precedente, confrontando il benchmark di riferimento con la classificazione ottenuta implementando l'algoritmo che controlla la portata oraria durante le ore notturne si ottengono 72 falsi negativi; mentre confrontando il benchmark di riferimento con la classificazione conseguita applicando la metodologia che verifica il non annullamento della portata oraria nelle 24 ore giornaliere se ne ottengono 203. Per chiarire le ragioni di tale variazione, in Figura 6 è stato riportato anche un ingrandimento dell'andamento nel tempo della portata oraria dell'utenza E, relativo al periodo compreso tra il 25 gennaio e il 2 febbraio 2017.

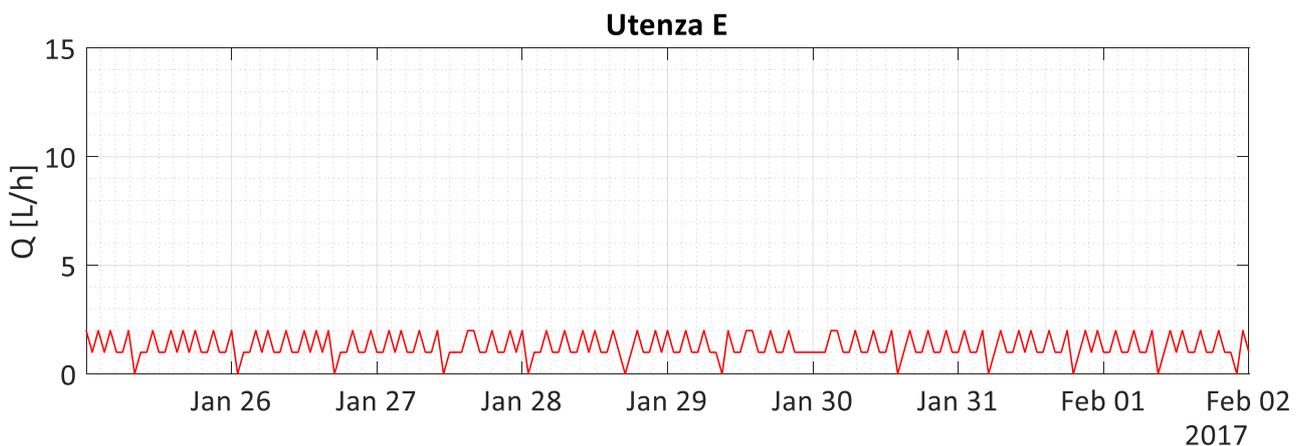


Figura 6. Ingrandimento dell'andamento nel tempo della portata oraria dell'utenza E registrato nel periodo compreso tra il 25 gennaio e il 2 febbraio 2017.

Analizzandone nel dettaglio il comportamento è possibile evidenziare un andamento di consumo idrico a denti di sega, in cui la portata oraria assume principalmente valori di 1 o 2 L/h ma, sporadicamente e senza alcuna regolarità, tende ad annullarsi. Tale andamento, non essendo comparabile al comportamento tipico delle utenze residenziali legato allo svolgimento delle tradizionali attività umane che si svolgono all'interno di una generica utenza, è stato classificato dall'analista esperto come fuga d'acqua di poco superiore a 1 L/h. In altre parole, l'analista ha ritenuto che, in generale, la perdita idrica fosse comunque presente e che i valori nulli del consumo incrementale fossero legati alla precisione del dispositivo di misura in grado, al minimo, di rilevare e registrare una variazione del volume cumulativo di 1 L. Viceversa, i due approcci implementati per identificare le fughe d'acqua interne alle utenze, identificando dei valori nulli di portata nelle ore di minimo consumo, oppure nell'arco dell'intera giornata, classificano alcuni giorni del periodo analizzato (26 e 28 gennaio 2017), ovvero tutti i giorni, come periodi di corretto funzionamento degli impianti idraulici e degli apparecchi igienico-sanitari, trascurando un elevato numero di eventi di perdita reale. Inoltre è interessante osservare che, tra tutte le serie temporali di consumo idrico analizzate, è proprio in corrispondenza dell'utenza E che si ottiene il numero più elevato di giorni di perdita reale non segnalata: il 36% del totale dei falsi negativi, implementando l'algoritmo che valuta l'andamento della portata oraria tra le ore 2 e 5, il 23% del totale dei falsi negativi, applicando la metodologia che valuta l'andamento della portata oraria durante l'intera giornata. In generale, così come nel caso dell'utenza E, con entrambi gli approcci la maggior parte dei falsi negativi si verifica allorché le utenze siano affette da fughe d'acqua classificabili come perdite idriche inferiori a 1 L/h.

Tuttavia, nel complesso, l'indice F_1 assume un valore più elevato, pari a 0,96, dimostrando una maggiore accuratezza nella discriminazione tra eventi di perdita e di assenza di perdita nel caso in cui la portata oraria venga esaminata nell'arco delle 24 ore. Pertanto, i risultati numerici evidenziano come l'analisi condotta sulle 24 ore consenta di ridurre significativamente i falsi positivi con un beneficio nell'efficienza complessiva dell'algoritmo per l'identificazione automatica delle perdite idriche interne alle abitazioni. Tale algoritmo, implementato all'interno delle più innovative infrastrutture per il monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici permetterebbe di notificare direttamente all'utente la presenza di probabili fughe d'acqua all'interno della propria abitazione, consentendo una riduzione dei volumi d'acqua dispersi in seguito a una riparazione tempestiva. Peraltro il contenimento delle perdite idriche interne alle utenze domestiche determinerebbe una riduzione della richiesta di acqua potabile e al contempo, data la notevole connessione, anche delle risorse energetiche. Tale dipendenza, meglio nota come *Water-Energy Nexus*, a causa del sempre più marcato squilibrio tra richiesta e disponibilità di risorse, di recente ha visto accrescere l'interesse di governi e autorità i quali, al fine di mitigare i rischi connessi con il depauperamento di acqua ed energia nei vari settori, sempre più frequentemente promuovono politiche e tecnologie che mirano al contenimento della domanda di entrambe le risorse [20-21]. Inoltre, l'uso dell'energia per il settore idrico è un tema che viene approfondito anche in ambito accademico per mezzo di studi che mirano a definire metodologie volte a stabilirne e quantificarne i flussi. Nello specifico, nel settore del SII la quantità di

energia necessaria per fornire agli utenti finali il volume d'acqua richiesto è funzione di diversi fattori quali ad esempio la qualità dell'acqua greggia, la distanza dalle opere di prelievo dei sistemi di potabilizzazione, oltre che la distanza di questi ultimi dai recapiti finali ovvero dalle utenze da servire [22]. Inoltre, l'acqua destinata all'uso umano necessita generalmente di una quantità di energia per i trattamenti di potabilizzazione superiore rispetto a quella richiesta per altri scopi, dovendo presentare dei requisiti finali imposti dalle normative in vigore. Al fine di cercare di fornire una valutazione quantitativa dell'energia impiegata nel settore del SII, di seguito vengono riportate le più recenti stime eseguite dall'*International Energy Agency* (IEA) con riferimento al consumo mondiale nell'anno 2014. In particolare, a livello globale, sono stati impiegati all'incirca 120 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtpe) dei quali circa il 60% sotto forma di energia elettrica. Quest'ultima aliquota, corrispondente a circa 820 Terawattora (TWh), ovvero al 4% del consumo totale, risulta così ripartita: il 40% per la captazione, il 25% per la depurazione, circa il 20% per la distribuzione, il 5% per i trattamenti di dissalazione e la restante aliquota per il trasferimento e la potabilizzazione [23]. Chiaramente, l'implementazione di una metodologia quale quella proposta, oltre a contenere le fughe d'acqua interne alle utenze ovvero la richiesta idrica residenziale, consentirebbe di concorrere alla sostenibilità ambientale, limitando i consumi energetici legati a tutti i processi acquedottisti imprescindibili per recapitare l'acqua fino al punto di consegna agli utenti.

3 Caratterizzazione dello stato di perdita idrica a livello di distretto a partire dalle misure dei consumi idrici a livello di utenza.

La gestione sostenibile della risorsa idrica è un obiettivo perseguibile attraverso diverse strategie che, pur operando a differenti livelli, concorrono comunque a un uso consapevole ed efficiente dell'acqua potabile. Nel paragrafo precedente è stata proposta una metodologia finalizzata alla salvaguardia della risorsa idrica (e di conseguenza delle risorse energetiche) che, agendo sui singoli individui per mezzo dell'identificazione delle fughe d'acqua interne alle abitazioni, mira a contenere la richiesta idrica a uso residenziale. In questa sezione, invece, il tema del contenimento delle perdite idriche viene affrontato a scala più ampia, ovvero a livello di rete idrica di distribuzione. Per stimare l'efficienza di un sistema di distribuzione nella letteratura tecnico-scientifica vengono proposte diverse strategie basate sul monitoraggio del sistema e sull'ottimizzazione delle risorse dedicate alla manutenzione della rete [23-25]. Fra queste tecniche, il metodo del Bilancio Idrico (BI) rappresenta una delle soluzioni più note a livello internazionale per stimare le perdite idriche sulla base della corretta definizione di tutte le componenti in ingresso e in uscita dal sistema. In particolare ciascun Paese, utilizzando una propria terminologia, ha definito in modo diverso le molteplici componenti che compongono il BI. Ad esempio, a livello nazionale, tali componenti vengono specificate nel "Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature" emanato con D.M. del 08 gennaio 1997, n. 99 previsto nel comma 2 dell'art. 5 della Legge del 5 gennaio 1994, n. 36, detta "Legge Galli", riguardante "Disposizioni in materia di risorse idriche" [26]. Per evitare le molteplici definizioni utilizzate nei diversi Paesi ed esplicitare in maniera univoca i differenti contributi, la *Water Loss Task Force* dell'*International Water Association* (IWA), con la redazione del "*Losses from Water Supply System: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*" del 2000, ha definito uno schema metodologico standardizzato per la valutazione del BI per i sistemi di approvvigionamento idrico [27-28]. Come mostra la Tabella 5, lo standard metodologico proposto da IWA consente di stimare per una determinata porzione del sistema di distribuzione il volume d'acqua non fatturato e le perdite idriche, a partire dalla conoscenza del volume immesso in rete e del consumo autorizzato. Nel dettaglio, il volume immesso in rete rappresenta il volume annuale di acqua in input alla porzione del sistema di distribuzione considerato. Invece, il consumo autorizzato viene definito come il volume annuo di acqua misurato e/o non misurato richiesto dagli utenti, dallo stesso gestore del SII e da altri soggetti autorizzati implicitamente o esplicitamente. Tale aliquota comprende anche i volumi d'acqua transitanti verso altre porzioni di rete e le perdite idriche interne alle utenze.

Tabella 5. Componenti del bilancio idrico secondo IWA.

Volume immesso in rete	Consumi autorizzati	Consumi autorizzati fatturati	Consumo fatturato misurato	Volume d'acqua fatturato
			Consumo fatturato non misurato	
		Consumi autorizzati non fatturati	Consumo non fatturato misurato	Volume d'acqua non fatturato
			Consumo non fatturato non misurato	
	Perdite idriche	Perdite apparenti	Consumo non autorizzato	
			Imprecisione dei contatori d'utenza	
		Perdite reali	Perdite nella rete di trasporto e di distribuzione	
			Perdite e sfiori dai serbatoi	
Perdite dalle prese d'utenza fino al contatore				

Dalla differenza tra il volume immesso in rete di distribuzione e il consumo autorizzato e fatturato viene stimato il volume d'acqua non fatturato, aliquota costituita dal consumo autorizzato e non fatturato e dalle perdite idriche. Tipicamente, il consumo autorizzato e non fatturato rappresenta la componente minore del BI e può essere dovuta ad attività quali a esempio la pulizia strade, lo spurgo della rete fognaria, il lavaggio della rete di approvvigionamento idrico ecc. Invece, le perdite idriche, ottenute come differenza tra il volume d'acqua immesso in rete e il consumo autorizzato (fatturato e non), possono essere suddivise a loro volta in perdite apparenti e in perdite reali. Le prime consistono nel volume annuo d'acqua costituito dai consumi non autorizzati e da tutti i tipi di errori di misura dei contatori d'utenza, mentre le seconde rappresentano il volume annuo d'acqua dissipato a causa di tutti i tipi di perdita fisica dell'intero sistema di approvvigionamento idrico, compresi i serbatoi e le prese fino ai contatori d'utenza. Chiaramente, le perdite reali non possono essere completamente annullate bensì ridotte fino al valore di perdita fisiologica. Tale limite, definito da IWA *Unavoidable Annual Real Losses (UARL)* [L/die], consiste nel valore minimo di perdita reale tecnicamente raggiungibile per beneficiare di un'infrastruttura ben gestita e in buone condizioni, e può essere stimato nel seguente modo:

$$UARL = (0.018 \times L_m + 0.8 \times N_c + 0.025 \times L_p) \times P \quad 1112 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

dove N_c e L_p rappresentano rispettivamente il numero e la lunghezza delle prese tra il confine di proprietà e il contatore d'utenza [m], L_m rappresenta la lunghezza della rete di distribuzione [m], mentre P rappresenta la pressione operativa media [m]. Tale indicatore viene ulteriormente utilizzato per calcolare l'*Infrastructure Leakage Index, ILI* [29], attraverso la seguente espressione:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad 1314 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

dove *CARL* [L/die] (*Current Annual Real Losses*) rappresenta le perdite annue reali correnti.

Nello specifico *ILI* rappresenta un utile indicatore standardizzato delle *performance* di un sistema di distribuzione e, in funzione del valore che assume, deve essere considerato come uno strumento di supporto decisionale per il generico gestore per pianificare, su base annua, le strategie e/o azioni più adeguate per la riduzione delle perdite reali (Tabella 6) quali il controllo attivo delle perdite, la gestione delle pressioni, la rapidità e la qualità dell'esecuzione delle riparazioni e la riabilitazione della rete e delle prese.

Tabella 6. Classi di qualità della rete in base al valore dell'ILI

ILI range	Qualità della rete	Descrizione generale delle categorie di performance nella gestione delle perdite reali per Paesi Sviluppati e in via di sviluppo
< 2	Buona	Ulteriori riduzioni delle perdite possono non essere economici a meno di carenza idrica; è necessaria un'analisi dettagliata per identificare miglioramenti cost-effective
$2 \leq ILI < 4$	Media	Potenziale per significativi miglioramenti; considerare la gestione della pressione, migliori modalità per il controllo attivo della pressione e migliore manutenzione della rete
$4 \leq ILI < 8$	Scarsa	Scarsa gestione delle perdite; tollerabile solo se l'acqua è abbondante e poco costosa. Comunque analizzare il livello e la natura delle perdite e intensificare gli sforzi per la riduzione delle perdite
≥ 8	Pessima	Uso molto inefficiente della risorsa; programmi di riduzione delle perdite sono imperativi e rappresentano una priorità assoluta

Per definire correttamente tutte le componenti coinvolte nella stima del BI e di conseguenza per gestire in maniera ottimale la ricerca perdite laddove effettivamente necessario e conveniente, la tecnica di ripartizione della rete di distribuzione in porzioni più piccole e ben delimitate, detta distrettualizzazione, rappresenta il metodo più vantaggioso. La distrettualizzazione di un sistema di approvvigionamento idrico avviene attraverso l'installazione e la chiusura di organi di sconnessione (valvole di sezionamento e saracinesche) lungo determinate condotte che collegano un distretto idrico (*District Metered Area, DMA*) all'altro e posizionando in corrispondenza di ciascuna delle restanti tubazioni un misuratore di portata (e di pressione). In generale, i DMA possono avere caratteristiche molto diverse fra di loro. In particolare, le dimensioni e il numero di tratti aperti di collegamento tra i distretti, ovvero i tratti muniti di dispositivi di misura, possono variare da sistema a sistema in ragione delle caratteristiche topologiche della rete. In ogni caso, un distretto dovrebbe includere tra 1000 e 3000 utenze, in accordo con quanto indicato dal *Water Research Centre* [30] o, come suggerito in letteratura scientifica [31], tra 2500 e 12500 abitanti. Per quanto riguarda i tratti di collegamento aperti tra i distretti, è significativo osservare che tanto minore è il loro numero, e quindi il numero dei misuratori inseriti, tanto minore è il rischio che a seguito del malfunzionamento di anche uno solo di questi misuratori non si possa chiudere il BI del distretto. Inoltre, ciascun misuratore comporta per l'ente gestore un costo, sia di installazione sia di manutenzione, e quindi in generale è auspicabile contenerne il più possibile il numero. D'altra parte, per pervenire all'isolamento del distretto dal resto della rete, tutti i tratti di collegamento in cui non viene installato un misuratore devono essere chiusi, comportando un'alterazione delle prestazioni idrauliche del sistema. Difatti, a seguito della chiusura di alcune condotte di collegamento tra DMA per mezzo degli organi di sconnessione, la rete presenta un numero di maglie inferiore rispetto alla topologia iniziale e quindi è soggetta a un aumento delle resistenze idrauliche, ovvero della dissipazione di energia, con implicazioni sulla garanzia delle pressioni adeguate ad assicurare il rispetto di predefiniti livelli minimi di servizio. In altre parole, il processo di distrettualizzazione contrasta con il tradizionale approccio impiegato nella progettazione degli impianti di distribuzione dell'acqua basato essenzialmente sulla realizzazione di sistemi caratterizzati da un elevato numero di maglie al fine di assicurare, grazie alla ridondanza dei percorsi disponibili in rete per il moto dell'acqua, una elevata affidabilità [32-35]. Pertanto, per ottenere un BI corretto è indispensabile che il processo di distrettualizzazione avvenga mediante un'adeguata conoscenza del sistema da ripartire e delle sue caratteristiche, oltre che attraverso un'attenta progettazione dei DMA. Nella letteratura scientifica, sono state proposte diverse procedure per progettare in maniera ottimale la ripartizione delle reti in DMA che vanno dalle procedure di supporto decisionale [36-38] alle procedure per la progettazione automatica [39-41] basate principalmente sulla teoria dei grafi e sulle simulazioni idrauliche.

In ogni caso, ripartita in maniera opportuna la rete di distribuzione e di conseguenza definite le componenti in ingresso e in uscita da ciascun DMA, è possibile pervenire a una stima delle perdite idriche solo su lunghi orizzonti temporali [42]. Ciò è imputabile alla conoscenza della richiesta idrica delle utenze che dipende dalla programmazione delle letture dei contatori d'acqua, servizio solitamente svolto dal gestore

principalmente per adempiere, quadrimestralmente ovvero semestralmente, alla fatturazione dei consumi [43-44]. Tuttavia, oggi, grazie al successo riscosso dai sistemi di *smart metering* per il monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici d'utenza è possibile rilevare in tempo reale anche i consumi di tutte le utenze appartenenti a un determinato DMA. Pertanto, monitorando attraverso i più innovativi sistemi di tipo SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) le portate in ingresso e in uscita da un dato DMA, nonché i livelli di eventuali serbatoi presenti all'interno dell'area monitorata e, combinando tali informazioni con l'andamento nel tempo delle richieste idriche di tutte le utenze appartenenti alla stessa area, il BI può essere chiuso anche su brevi orizzonti temporali (a livello giornaliero, se non addirittura orario), permettendo al gestore di ottimizzare la pianificazione degli interventi in rete idrica. In particolare, stabilito un passo temporale di calcolo Δt e, noti sul generico passo temporale i volumi in ingresso $V_{in,j}^{\Delta t}$ e in uscita $V_{out,i}^{\Delta t}$ da un dato DMA, oltre che i volumi accumulati/rilasciati da eventuali serbatoi $V_{serb,k}^{\Delta t}$ (positivi se rilasciati, negativi se accumulati) e i volumi consumati da ciascuna utenza appartenente all'area monitorata $V_{us,w}^{\Delta t}$, è possibile quantificare in continuo temporale il volume d'acqua non fatturato sullo stesso intervallo temporale $V_{non\ fatt}^{\Delta t}$ nel seguente modo:

$$V_{non\ fatt}^{\Delta t} = \sum_{j=1}^m V_{in,j}^{\Delta t} - \sum_{i=1}^n V_{out,i}^{\Delta t} + \sum_{k=1}^p V_{serb,k}^{\Delta t} - \sum_{w=1}^{n_{tot}} V_{us,w}^{\Delta t} \quad 1516 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

dove m , n , p e n_{tot} rappresentano rispettivamente il numero totale di contributi ingresso al DMA, il numero totale di contributi in uscita verso altri DMA, il numero totale dei serbatoi di accumulo/rilascio presenti nell'area monitorata e il numero totale di utenze presenti nella stessa area.

Chiaramente, la possibilità di monitorare tutte le componenti del BI e di eseguirlo pressoché in continuo rappresenta uno strumento per una gestione proattiva del sistema di approvvigionamento idrico, in grado di fornire risultati sia in termini di controllo delle perdite, sia in termini di rapidità di esecuzione delle riparazioni. Ad esempio, tipicamente le perdite di rete vengono segnalate dagli utenti qualora si manifestino degli evidenti disservizi (abbassamenti di pressione, presenza di acqua sul manto stradale, ecc.) causati da fughe d'acqua di grande entità. Per contro, le perdite occulte di piccola entità solitamente non vengono segnalate nell'immediato ma persistono nel tempo (a volte anche per anni) fino al loro palesamento dovuto al cospicuo aumento della loro intensità. Grazie, all'ottimizzazione del sistema di misura della richiesta idrica degli utenti, offerto dai sistemi dai più innovativi *smart metering*, e parallelamente all'esecuzione di un BI ad elevata risoluzione temporale, forniti dalla metodologia proposta, verrebbe data al gestore la possibilità di controllare attivamente ciascun DMA, di ridurre il tempo di conoscenza della perdita (tempo che intercorre tra la nascita e la consapevolezza della presenza della perdita) e di conseguenza di minimizzare il tempo che intercorre tra la nascita e la riparazione di una perdita. Per di più, il gestore potrebbe godere della possibilità di stimare con una frequenza maggiore l'indicatore per la valutazione delle *performance* del sistema di distribuzione potendo variare, a seconda delle proprie esigenze, le azioni di mitigazione delle perdite di rete.

Al fine di mostrare i benefici offerti dalla procedura proposta, di seguito vengono mostrate le elaborazioni relative al BI svolto con riferimento al DMA di Gorino Ferrarese. Dal punto di vista idraulico, il DMA di Gorino corrisponde a un distretto naturale, alimentato dalla rete adduttrice in un unico punto nel quale avviene la misura delle condizioni idrauliche al contorno (portata e pressione) e dal quale si estende l'intera rete di distribuzione (Figura 7). Poiché all'interno del distretto non è presente alcun sistema di accumulo/rilascio e poiché non vi è alcun volume d'acqua in uscita dal distretto transitante verso altri DMA, in questo particolare caso l'equazione 16 \set * MERGEFORMAT () del BI si riduce a:

$$V_{non\ fatt}^{\Delta t} = \sum_{j=1}^m V_{in,j}^{\Delta t} - \sum_{w=1}^{n_{tot}} V_{us,w}^{\Delta t} \quad 1718 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$



Figura 7. Schema idraulico del distretto di Gorino Ferrarese (triangolo rosso: misuratore di distretto; linee blu: rete di distribuzione).

Come introdotto nella sezione precedente, le serie temporali di consumo idrico delle singole utenze, registrate dagli smart meter installati, sono state raccolte attraverso una campagna di raccolta dati durata da fine giugno 2016 fino a marzo 2018, avvalendosi di un sistema di tipo RMR in modalità Walk-by. La serie temporale dell’impresso nel DMA è stata invece rilevata per mezzo di un misuratore di portata elettromagnetico appartenente all’apparato di telecontrollo con cui il gestore monitora la rete di propria competenza.

In accordo con l’equazione 18* MERGEFORMAT (), per caratterizzare il livello di perdita del DMA in questione, operativamente è stata confrontata la serie temporale della portata immessa in rete con quella ottenuta dalla somma delle serie temporali dei consumi delle singole utenze. Durante tutto il periodo di osservazione, confrontando l’andamento dell’impresso in rete (indicato in rosso in Figura 8) con l’andamento del consumo di tutte le utenze (in blu) in generale è stato possibile evidenziare il medesimo andamento ma, al contempo, sono state identificate alcune singolarità, verificatesi in diversi periodi temporali.

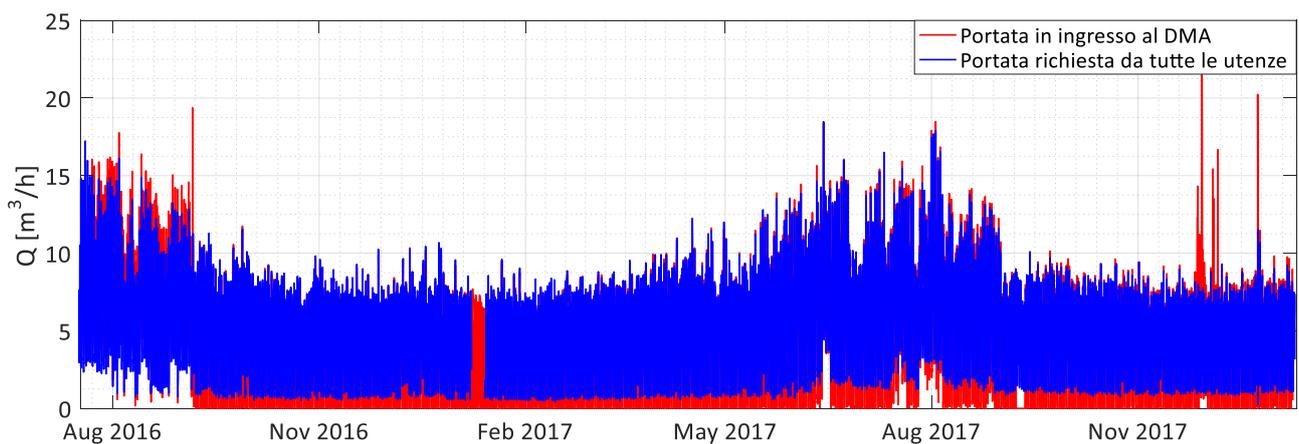


Figura 8. Bilancio idrico del distretto (rosso: portata immessa nel distretto; blu: consumo delle utenze).

Nello specifico, durante il primo periodo di osservazione (dettaglio di Figura 9), periodo puramente estivo in cui i consumi idrici in generale sono più elevati, è stato rilevato un impresso in rete sempre superiore rispetto al consumo della totalità delle utenze di una quantità all’incirca costante di 1,5 m³/h, comportamento che ha messo in evidenza la presenza di perdite idriche in rete di distribuzione.

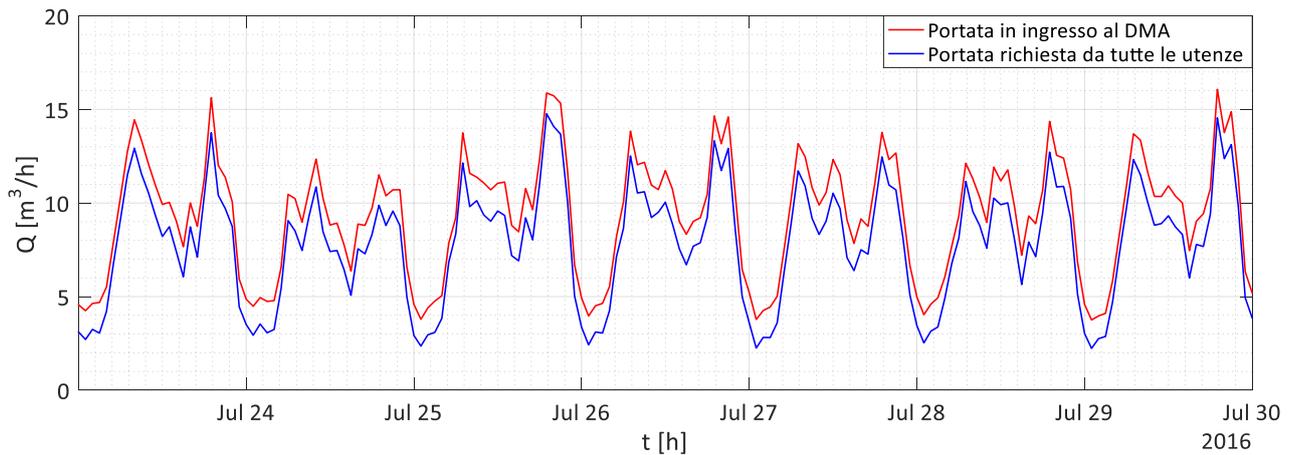


Figura 9. Dettaglio del bilancio idrico nel primo periodo d'indagine (rosso: portata immessa nel distretto; blu: consumo delle utenze).

Da inizio settembre 2016, invece, è stata registrata una riduzione dei consumi ma, in particolare, come mostrato in Figura 10, il 5 settembre è stato rilevato un picco di consumo, misurato esclusivamente dallo strumento in ingresso e, a seguire, un cambiamento del comportamento di sopra descritto. Nello specifico il suddetto picco di consumo è stato misurato durante la riparazione di una rottura presente nella rete di distribuzione tanto che, a seguito di tale manutenzione, il misuratore in ingresso ha restituito, con riferimento alle ore diurne, valori di portata in linea con quelli dati dalla somma delle singole utenze, con riferimento alle ore notturne, valori di portata sottostimati.

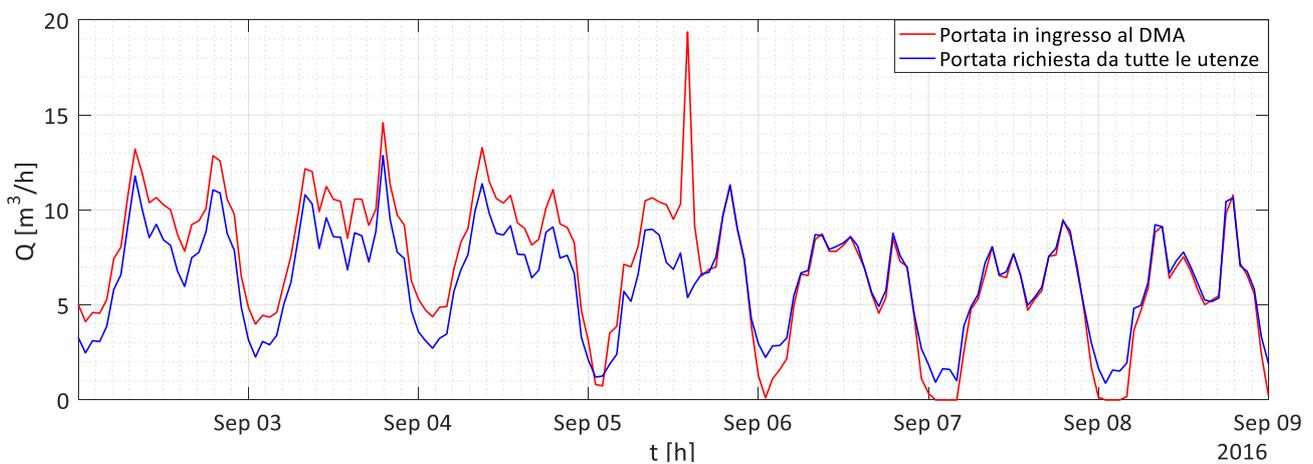


Figura 10. Dettaglio del bilancio idrico pre e post riparazione di una rottura nella rete di distribuzione (rosso: portata immessa nel distretto; blu: consumo delle utenze).

Poiché in generale la portata in ingresso a un generico DMA non può essere inferiore rispetto alla richiesta idrica delle utenze da servire, l'anomalia (sottostima) registrata è stata attribuita alla sensibilità del dispositivo di misura posizionato nella condotta in entrata all'area monitorata. Infatti, quando la richiesta idrica dell'insieme delle utenze risulta inferiore rispetto alla portata minima caratteristica del misuratore di distretto (definita dal D. Lgs. 2 febbraio 2007, n.22 Q_1 ovvero il valore portata d'acqua minima in presenza della quale il contatore fornisce indicazioni che soddisfano i requisiti in materia di errore massimo tollerato), pari a circa $1,7 \text{ m}^3/\text{h}$, il misuratore in ingresso sottostima la portata entrante, restituendone talvolta valori nulli. Tale comportamento è stato riscontrato per tutto l'anno 2017 ed in particolare fino a dicembre quando è stata rilevata la formazione di una nuova perdita in rete. Difatti, osservando l'andamento delle due curve riportato in Figura 11, legato alla fine del periodo di osservazione, periodo prettamente invernale in cui i consumi si riducono sensibilmente, è stato individuato un immesso in rete avente il medesimo andamento del consumo della totalità delle utenze ma di poco superiore (all'incirca di

0,5 m³/h). Tale tendenza s’inverte esclusivamente nelle ore notturne quando la richiesta da parte dell’insieme delle utenze risulta ancora una volta inferiore alla sensibilità del misuratore in ingresso che, pertanto, ritorna a sottostimare la portata entrante.

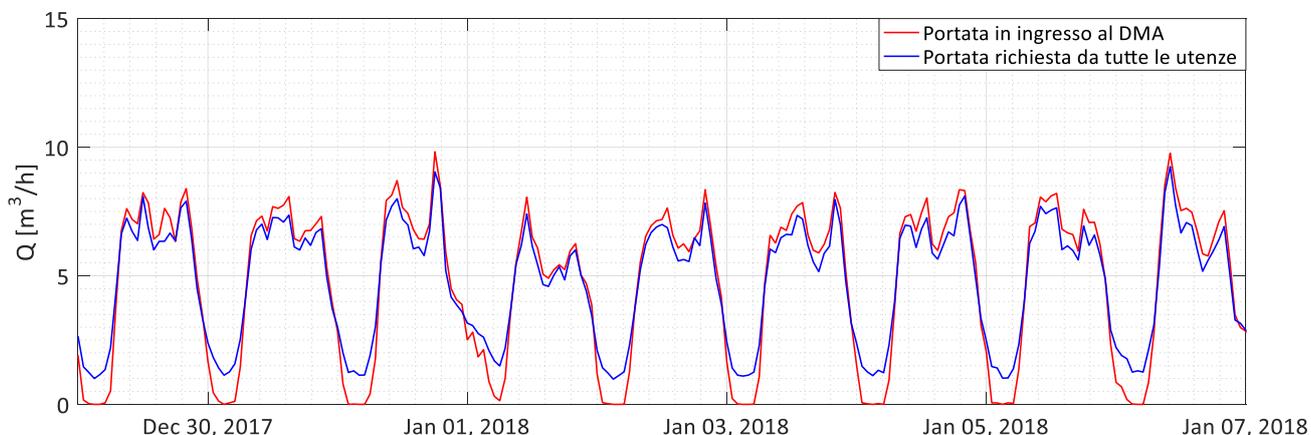


Figura 11. Dettaglio del bilancio idrico alla fine del periodo di osservazione (rosso: portata immessa nel distretto; blu: consumo delle utenze).

Inoltre, svolgendo il BI con continuità temporale, è stato possibile individuare altre componenti del BI definito da IWA. Per esempio, nel periodo compreso tra il 27 e il 30 novembre e nel periodo compreso tra il 4 e il 6 dicembre 2017 è stato possibile identificare anche alcuni consumi autorizzati e non fatturati provocati da manovre rispettivamente di lavaggio e di rifacimento condotte. Tali consumi, attestati da CADF S.p.A., come mostra la Figura 12 trovano conferma nel consistente aumento del consumo rilevato esclusivamente dal misuratore di distretto.

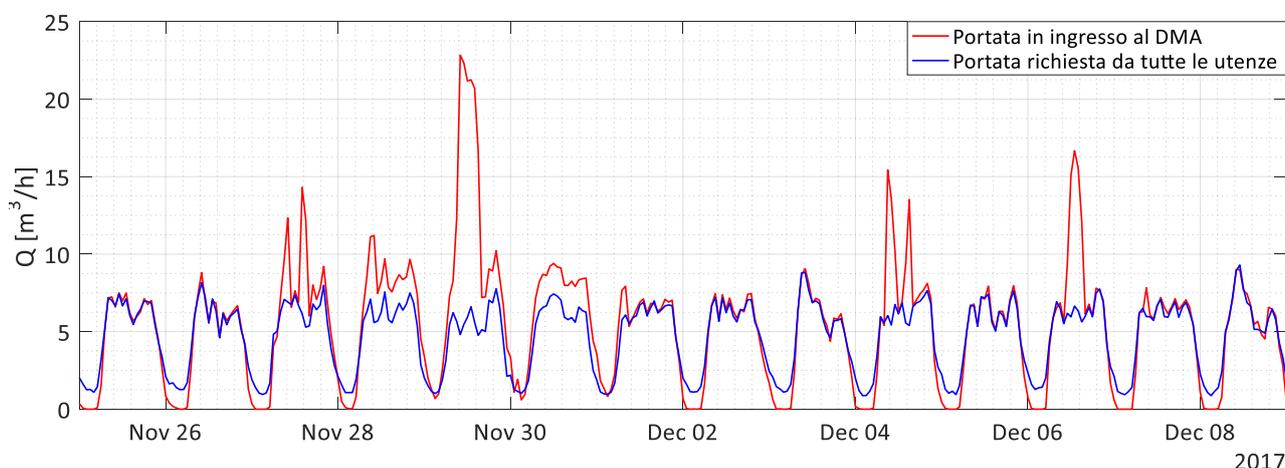


Figura 12. Dettaglio del BI in cui sono stati individuati consumi autorizzati e non fatturati.

In sostanza, il bilancio idrico svolto ha permesso di avere un quadro costantemente aggiornato dell’entità delle perdite presenti nella rete di distribuzione di Gorino Ferrarese e dei benefici prodotti dagli interventi di riparazione delle rotture.

Da quanto esposto, è piuttosto chiaro che l’impiego di tecniche di *smart metering* per il monitoraggio in continuo dei consumi d’utenza, combinato con la distrettualizzazione delle reti e l’adozione di una procedura come quella suggerita per stimare il livello di perdita delle infrastrutture idriche, incrementerebbe la sostenibilità degli attuali sistemi. In particolare, consentirebbe di ridurre le perdite reali di rete che, secondo una recente memoria redatta dall’ [Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente \(ARERA\)](#) equivalgono mediamente, a livello nazionale, al 38,5 % del volume immesso in rete. Al contempo, consentirebbe di pianificare le attività per l’ottimizzazione dei sistemi di distribuzione, realizzate a oggi in

minima parte (circa l'8% degli interventi eseguiti dai gestori), dovendo, la maggior parte delle *utility*, far fronte a una generalizzata attività di riparazione di guasti, piuttosto che di progressivo sviluppo e messa in sicurezza delle infrastrutture [45].

4 Analisi di sensibilità al numero e tipo di utenti monitorati della procedura per la caratterizzazione dello stato di perdita idrica a livello di distretto.

Monitorando in tempo reale i consumi di tutte le utenze appartenenti a un determinato DMA e, confrontandone la somma con gli ingressi, le uscite ed eventuali accumuli in serbatoi presenti nella stessa area [46], come mostrato nella sezione precedente, il gestore può ottimizzare la pianificazione degli interventi in rete idrica grazie alla possibilità di chiudere il bilancio idrico a livello giornaliero, se non addirittura orario, con elevata accuratezza e quindi valutare il livello di perdita in rete su analogo passo temporale. Tuttavia, bisogna tener conto che operativamente possono verificarsi situazioni in cui il BI a livello di distretto non può essere chiuso perfettamente a causa della temporanea mancanza delle informazioni di consumo di alcuni utenti, dovuta per esempio all'assenza di comunicazione da parte delle infrastrutture di *smart metering* o più semplicemente a un loro guasto a livello di utenza. In queste circostanze, si presenta comunque la necessità di stimare correttamente i consumi del distretto sulla base del monitoraggio dei consumi idrici di solo una parte delle utenze del distretto stesso. Inoltre è significativo osservare che sebbene i sistemi di *smart metering* dei consumi idrici si stiano sviluppando e affermando sempre più, i gestori devono operativamente affrontare il problema di sostituire migliaia di contatori, operazione che comporta il coinvolgimento di tecnici in campo, lunghi tempi, e costi elevati. Un gestore di una grande rete di distribuzione idrica, al servizio di migliaia di utenze e costituita da decine o centinaia di DMA non può quindi pensare di effettuare simultaneamente la sostituzione di tutti i contatori delle utenze, ma si trova nelle condizioni di pianificare delle vere e proprie campagne di sostituzione. In questa circostanza, per il generico gestore potrebbe essere interessante comprendere se a parità di investimento e numero di contatori da sostituire conviene, ad esempio, procedere alla sostituzione di tutti i contatori di un distretto o sostituirci la metà, ma in due distretti. Nel primo caso sarebbe possibile chiudere perfettamente il bilancio del singolo distretto, nel secondo, di chiuderlo solo parzialmente ma con riferimento a due distretti. Si pone in sostanza il problema di capire se con una frazione di contatori monitorati in tempo reale sia possibile stimare il corrispondente consumo complessivo di distretto con sufficiente precisione. Per valutare tale possibilità in questa sezione vengono proposti alcuni metodi, ciascuno dei quali è costituito da due fasi successive: nella prima fase si selezionano le utenze da monitorare, mentre nella seconda si esegue la stima del consumo totale del distretto a partire dalla sola conoscenza del consumo misurato in tempo reale nelle utenze selezionate. È significativo osservare che i metodi per la selezione delle utenze da monitorare (prima fase) sono definiti appoggiandosi alle informazioni tipicamente in possesso del gestore prima della sostituzione dei contatori tradizionali con gli *smart meter*, ovvero la tipologia di ciascun'utenza e i relativi volumi contabilizzati nell'anno/anni precedenti. Nello specifico, per quanto riguarda la fase di selezione, fissata la percentuale di utenze da monitorare P , ovvero supposto di selezionare un determinato numero di utenze n_P , sono stati considerati tre diversi metodi. Il primo metodo, indicato nel seguito con SM1 (*Selection Method 1*), contempla la scelta casuale all'interno dell'intero pool di utenze. Il secondo metodo, indicato nel seguito con SM2, contempla la scelta delle utenze che nell'anno precedente, indipendentemente dalla tipologia, hanno presentato i consumi più elevati, reputando quest'ultime maggiormente rappresentative del consumo globale del distretto. Infine, il terzo metodo, indicato nel seguito con SM3, contempla la selezione di tutte le utenze commerciali e di servizi pubblici, ritenendole singolari dal punto di vista del comportamento di consumo, e il completamento della percentuale di utenze da monitorare selezionando tra le utenze residenziali quelle che nell'anno precedente hanno presentato i consumi più elevati. Per quanto riguarda la seconda fase, ovvero la stima del consumo orario dell'intero distretto a partire dai consumi delle sole utenze monitorate, sono stati considerati due approcci, indipendentemente da come sia avvenuta la fase di selezione. Con il

primo approccio, indicato nel seguito CF1 (*Correction Factor 1*), la portata oraria (m³/h) dell'intero distretto Q_h è stimata a partire dalle serie della portata oraria delle utenze monitorate $q_{h,i}$ con i=1:n_p nel seguente modo:

$$Q_h = F_q \times \sum_{i=1}^{n_p} q_{h,i} \tag{1920} \text{ * MERGEFORMAT ()}$$

Essendo F_q un fattore di correzione (CF) amplificativo definito come:

$$F_q = \frac{\sum_{j=1}^{n_{tot}} \bar{v}_{j,1}}{\sum_{i=1}^{n_p} \bar{v}_{i,1}} \tag{2122} \text{ * MERGEFORMAT ()}$$

dove $\sum_{j=1}^{n_{tot}} \bar{v}_{j,1}$ rappresenta la richiesta idrica annua delle n_{tot} utenze del distretto calcolata tenendo conto dei

volumi fatturati nell'anno precedente, mentre $\sum_{i=1}^{n_p} \bar{v}_{i,1}$ rappresenta la richiesta idrica annua delle sole n_p utenze selezionate, calcolata sempre tenendo conto dei volumi fatturati nell'anno precedente.

Con il secondo approccio, indicato nel seguito CF2, la portata oraria dell'intero distretto Q_h è stimata nel seguente modo:

$$Q_h = \sum_{i=1}^{n_p} q_{h,i} + k_h \times \sum_{k=1}^{n_{tot}-n_p} \bar{q}_{y,k} \tag{2324} \text{ * MERGEFORMAT ()}$$

ovvero sommando alla portata oraria dell'insieme delle utenze monitorate $\sum_{i=1}^{n_p} q_{h,i}$ la portata media oraria

dell'insieme delle utenze non selezionate $\sum_{k=1}^{n_{tot}-n_p} \bar{q}_{y,k}$, calcolata partendo dai volumi fatturati nell'anno precedente, ovvero dividendo tali volumi annui per 365×24. In particolare, al fine di tener conto anche delle variazioni di consumo nell'arco della giornata dell'insieme delle utenze non selezionate, il contributo costante dato dalla portata media oraria dell'insieme delle utenze non selezionate è modulato mediante il coefficiente orario k_h, variabile di ora in ora, definito come:

$$k_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} q_{h,i,t} + \sum_{i=1}^{n_p} q_{h,i,t-1} + \sum_{i=1}^{n_p} q_{h,i,t-2} + \sum_{i=1}^{n_p} q_{h,i,t-3}}{4 \times \sum_{j=1}^{n_{tot}} \bar{q}_{y,j}} \tag{2526} \text{ * MERGEFORMAT ()}$$

Tale coefficiente orario è in pratica stimato sulla base dei consumi idrici delle utenze monitorate osservate nell'ora corrente e nella medesima ora del medesimo giorno nelle tre settimane precedenti, per tener conto delle variazioni dei comportamenti periodici giornalieri. Quest'approccio, mutuato da modelli di previsione dei consumi idrici a breve termine recentemente proposti [47-48], è operativamente applicabile solo a partire da un mese dopo l'installazione degli *smart meter*.

La valutazione dell'errore che si commetterebbe, stimando il consumo della totalità delle utenze con ciascuna delle metodologie elaborate, è stata condotta al variare del numero di utenze selezionate, calcolando l'errore medio assoluto percentuale (*Mean Absolute Percentage Error*, MAPE), sia relativo alla

stima dell'andamento nel tempo della portata oraria dell'insieme delle utenze, sia relativo alla stima dell'andamento nel tempo del volume richiesto giornalmente dalle stesse, mediante la seguente espressione:

$$MAPE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^{obs} - x_i^{eval}}{x_i^{obs}} \right| \times 100$$

2728* MERGEFORMAT ()

dove n rappresenta il numero di dati osservati (ovvero il numero di ore o il numero di giorni considerati), x_i^{obs} rappresenta la grandezza osservata (portata oraria o volume giornaliero richiesto da tutte le utenze del distretto) e x_i^{eval} rappresenta la corrispondente grandezza (portata oraria o volume richiesto giornalmente) stimata con i metodi precedentemente descritti.

Le diverse metodologie per la stima del consumo complessivo di distretto a partire dal monitoraggio in tempo reale di una frazione di contatori d'utenza sono state elaborate e validate tenendo conto delle informazioni di consumo idrico, rilevate presso ciascuna utenza appartenente al DMA di Gorino Ferrarese (FE), già ampiamente descritto nelle sezioni precedenti. In particolare, sono state considerate le serie storiche del volume cumulativo richiesto dalle utenze, scandito a passo orario, e la serie delle portate in ingresso al distretto, anch'esse scandite a passo orario, registrate nel periodo compreso tra il 7 agosto 2016 e il 7 gennaio 2017. Nel periodo in esame, la richiesta idrica dell'insieme delle 293 utenze è stata di circa 20000 m³ dei quali circa il 90% è imputabile alle sole utenze residenziali (in totale pari a 276). Tali utenze, come mostra l'andamento dei coefficienti orari di portata ("portata media oraria"/"portata media giornaliera") riportato in Figura 13a con riferimento a una generica utenza, hanno evidenziato un andamento della richiesta idrica caratterizzato da momenti di maggior consumo, che si verificano principalmente nelle ore diurne, intervallati da momenti in cui il consumo diminuisce, come accade nelle ore notturne. Invece, le restanti utenze (in totale pari a 17) hanno contribuito alla richiesta idrica del distretto con una componente ridotta (circa il 10%) e con richieste idriche aventi un andamento chiaramente diverso da quello delle utenze residenziali e variabile a seconda della tipologia di utenza considerata (Figura 13b). Per il medesimo distretto erano inoltre disponibili i dati relativi ai volumi contabilizzati annui di ciascun'utenza nell'anno precedente al periodo di osservazione (2015), informazione quest'ultima raccolta dal gestore su tutta la rete, ancor prima dell'installazione degli *smart meter* per la fatturazione dei consumi (si ricorda che l'installazione dei contatori intelligenti è avvenuta nella primavera 2016). In particolare, anche nel 2015, l'insieme delle utenze commerciali e/o di servizi pubblici ha contribuito alla richiesta idrica del totale delle utenze con un apporto limitato (9,28%) e per l'82% imputabile essenzialmente a 3 specifiche utenze (un campo sportivo, un ristorante/albergo, un bar/ostello).

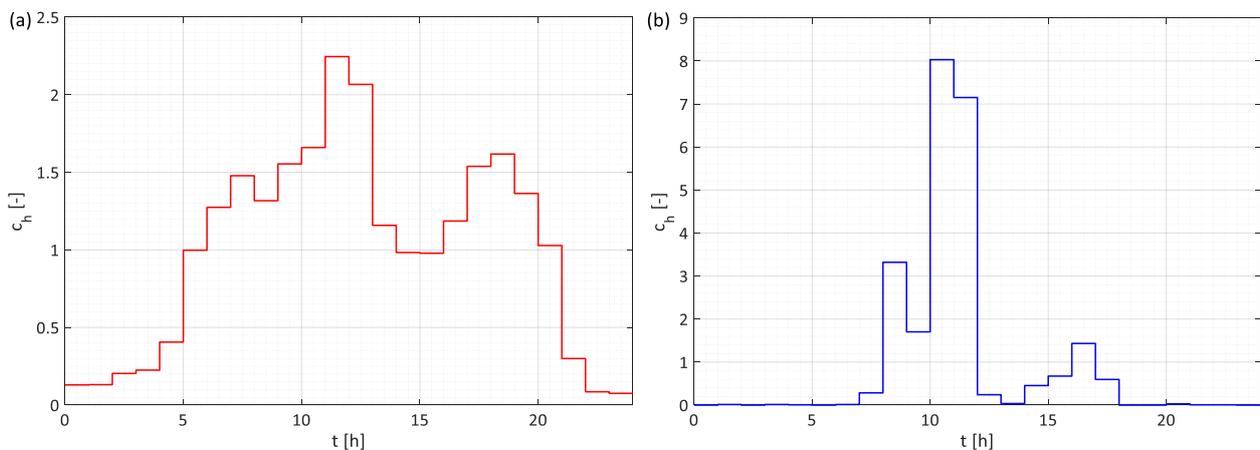


Figura 13. Andamento dei coefficienti orari di consumo nel periodo intercorrente tra il 7 agosto 2016 e 7 gennaio 2017 a) di un'utenza residenziale e b) di un'utenza commerciale (cooperativa di acquacoltori).

I metodi per la selezione delle utenze (SM1, SM2 e SM3), combinati con i due approcci CF1 e CF2 per la stima del consumo complessivo di tutte le utenze del distretto sono stati applicati a fronte di percentuali di utenze monitorate variabili dal 10% al 90% con passo del 10%. In Figura 14 si riportano i risultati ottenuti

in termini di andamento del MAPE relativo alla stima della portata oraria, per i diversi metodi e percentuali di utenze monitorate.

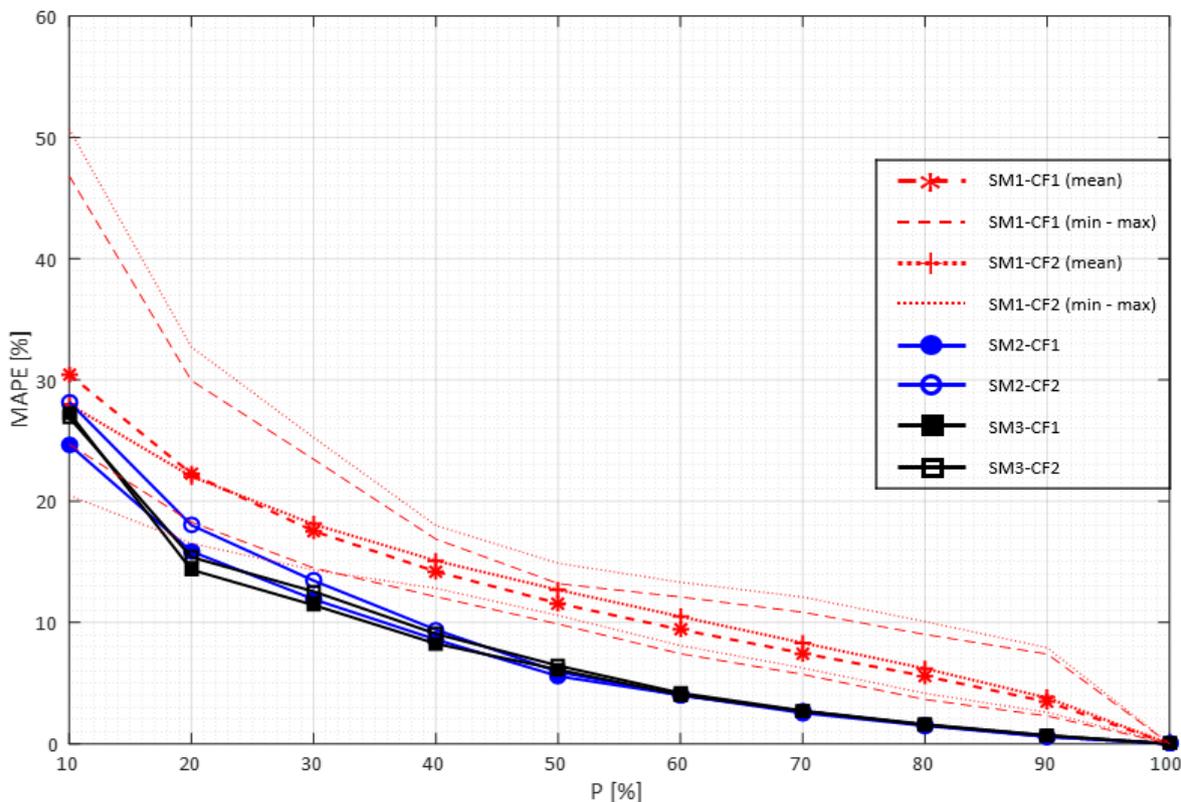


Figura 14. Andamento del MAPE sulla stima della portata oraria della totalità delle utenze per i diversi metodi e percentuali di utenze monitorate.

In particolare, con riferimento al criterio di selezione SM1 (selezione casuale), in Figura 14 si riporta oltre all'andamento del valore medio del MAPE ottenuto ripetendo la selezione casuale (e di conseguenza la fase di stima) 100 volte anche l'andamento dei valori minimi e massimi (indicati in Figura 14 con le linee rosse senza marker tratteggiate e punteggiate rispettivamente per i casi SM1-CF1 e SM1-CF2). In questo modo è stato possibile verificare la variabilità dell'errore commesso sulla stima della portata oraria dell'intero insieme delle utenze, al variare della scelta casuale. Ad esempio, posto di selezionare in maniera casuale il 30% delle utenze, il MAPE relativo alla stima della portata oraria ottenuta applicando il fattore di correzione CF1 vale 17,5% e oscilla tra un valore minimo di 14,5% e un valore massimo di 23,5%. In generale, indipendentemente dai criteri di selezione delle utenze e di stima della portata oraria adottati, si osserva che, come atteso, all'aumentare del numero di utenze monitorate i valori di MAPE si riducono. Invece, con riferimento specifico ai metodi di selezione, si osserva come i criteri SM2 e SM3 forniscano dei risultati nettamente migliori rispetto al criterio SM1. Inoltre, è in particolare interessante notare che se per basse percentuali di utenze monitorate gli errori percentuali sono in tutti i casi abbastanza elevati, superiori al 10%, selezionando anche solo un 60% di utenze con i criteri SM2 e SM3 si consegue un MAPE inferiore al 5%, minore rispetto a quello ottenuto con una selezione casuale delle utenze. Tale risultato sottolinea come sia più opportuno selezionare le utenze sulla base di informazioni note e strettamente connesse con le stesse, al fine di ottenere un bilancio idrico più accurato. Inoltre, fissata la percentuale di utenze da monitorare e a parità di criterio di stima della portata oraria della totalità delle utenze, è possibile osservare come i metodi di selezione SM2 e SM3 forniscano risultati del tutto comparabili tra loro. Tale osservazione trova spiegazione nel fatto che le utenze commerciali che consumano di più sono comunque incluse nella selezione del metodo SM2. Infatti, le 3 utenze commerciali che nel 2015 hanno consumato di più (l'82% del consumo totale di tutte le utenze commerciali) sono proprio le 3 utenze che all'interno dell'intero pool nel 2015 hanno consumato maggiormente. Per contro, se la fase di selezione fosse stata compiuta scegliendo le utenze da monitorare esclusivamente tra le utenze residenziali, l'errore sulla stima

della portata oraria della totalità delle utenze sarebbe stato nettamente maggiore (MAPE intorno al 9,5% per una percentuale di utenze monitorate del 60%). A parità di criterio di selezione (SM2 o SM3) si nota infine che i due approcci considerati (CF1 e CF2) per la stima del consumo orario dell'intero distretto a partire dai consumi delle sole utenze monitorate forniscono risultati sostanzialmente equivalenti tra loro. A titolo esemplificativo, in Figura 15 si riporta l'andamento nel tempo della portata oraria totale stimata considerando il 60% delle utenze monitorate con il metodo SM3 - CF2 (in verde) dove è possibile evidenziare come il suddetto metodo approssimi molto bene la portata oraria totale osservata (in blu). Questo implica che ipotizzando di monitorare il 60% dell'intero pool di utenze si potrebbe conseguire un bilancio idrico del distretto a passo orario molto accurato, con un errore di circa il 4%.

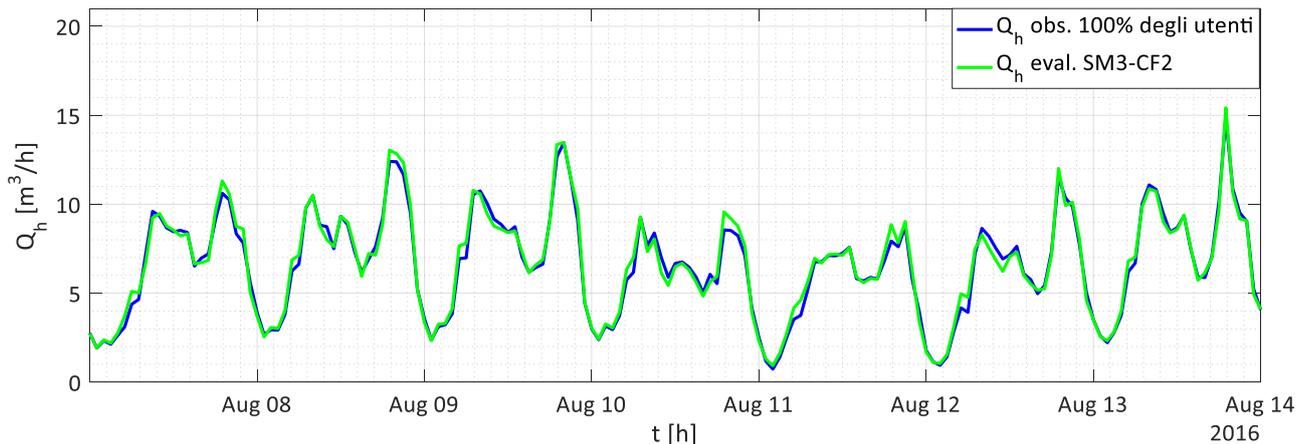


Figura 15. Andamento nel tempo della portata oraria di tutte le utenze osservata (in blu) e stimata con il metodo SM3 – CF2 (in verde).

Simili considerazioni possono essere sviluppate anche analizzando i valori del MAPE sulla stima del volume richiesto giornalmente dall'insieme delle utenze riportati in Tabella 7. Nello specifico, osservando i valori assunti dal MAPE, si noti come monitorando una percentuale di utenze del 60% sulla base dei criteri di selezione che tengono conto dei volumi contabilizzati annui nell'anno 2015 (SM2 e SM3) si ottengono valori del MAPE inferiori al 2%. In particolare, si osserva che il criterio di selezione SM3 fornisce risultati leggermente migliori del criterio SM2 e, per quanto riguarda il fattore di correzione per la stima del consumo orario dell'intero distretto a partire dai consumi delle sole utenze monitorate, si osserva che a parità di criterio di selezione (SM2 o SM3) l'approccio CF2 fornisce una accuratezza leggermente maggiore dell'approccio CF1. Quindi, complessivamente, il metodo SM3-CF2 è quello che fornisce la maggior accuratezza nella stima del consumo giornaliero dell'intero distretto a partire dai consumi di solo il 60% di utenze monitorate, con un errore assoluto medio percentuale del 1,2%.

Tabella 7. Valori del MAPE sulla stima del volume giornaliero richiesto dalla totalità delle utenze.

% Utenze Monitorate		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
SM1 - CF1	medio	12,2	9,8	8,1	6,7	5,4	4,4	3,7	2,5	1,3	0,0
	min.	6,3	5,4	5,0	4,6	4,1	2,9	2,0	1,1	0,6	0,0
	Max.	33,2	21,2	13,1	10,4	8,4	6,9	7,1	6,4	5,6	0,0
SM1 - CF2	medio	11,7	9,9	8,4	7,2	6,0	4,9	4,1	2,7	1,4	0,0
	min.	6,4	5,8	5,9	5,2	4,1	3,0	2,0	1,3	0,6	0,0
	Max.	31,3	20,8	13,5	10,3	9,3	7,5	7,6	6,8	5,9	0,0
SM2 - CF1		15,4	10,3	7,6	4,6	2,6	1,7	0,9	0,6	0,4	0,0
SM2 - CF2		13,8	9,3	7,1	4,3	2,2	1,4	0,8	0,6	0,4	0,0
SM3 - CF1		9,0	4,6	5,3	3,6	2,0	1,3	0,8	0,6	0,4	0,0
SM3 - CF2		7,5	3,8	4,7	3,4	1,9	1,2	0,8	0,6	0,4	0,0

Sempre a titolo esemplificativo, in Figura 16 si riporta oltre all'andamento nel tempo del volume giornaliero in ingresso al DMA (in magenta), l'andamento nel tempo del volume osservato richiesto giornalmente dalla totalità delle utenze (in blu) e l'andamento nel tempo del volume richiesto giornalmente da tutte le utenze, stimato considerando il 60% delle utenze monitorate con il metodo SM3 - CF2 (in verde). È evidente che monitorando una percentuale di utenze del 60% si potrebbe stimare con ottima accuratezza il consumo complessivo del distretto e quindi tramite bilancio, le perdite idriche. Difatti, nel periodo di tempo compreso tra il 7 agosto e il 4 settembre 2016 è stata osservata un livello di perdita idrica in rete di 1,54 m³/h, valore del tutto in linea con quello che si otterrebbe stimando il consumo dell'insieme delle utenze con il metodo SM3 - CF2 pari a 1,52 m³/h.

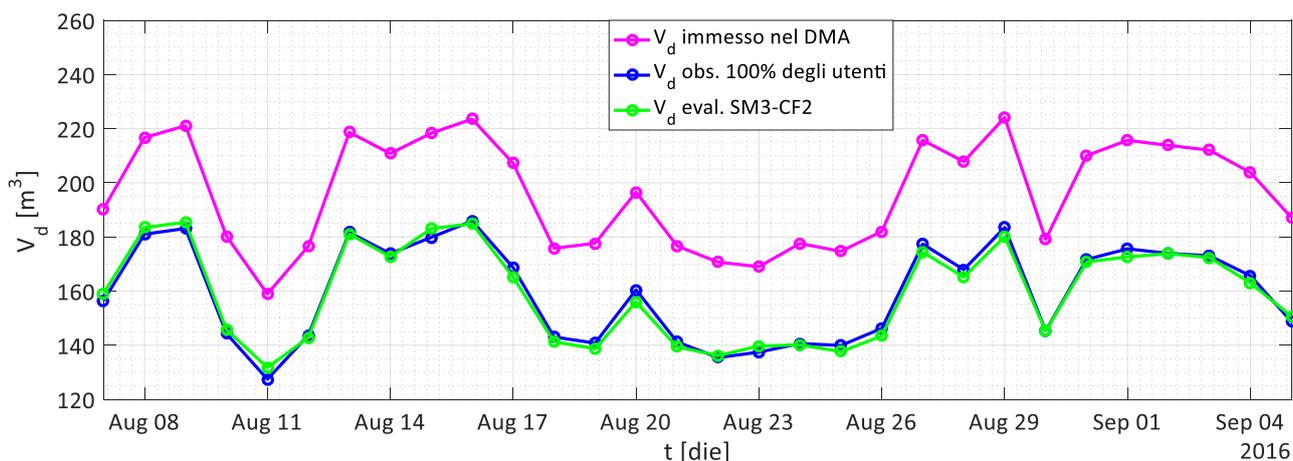


Figura 16. Andamento nel tempo volume giornaliero osservato in ingresso al DMA (in magenta) e del volume richiesto giornalmente da tutte le utenze osservato (in blu) e stimato con il metodo SM3 – CF2 (in verde).

Da quanto esposto è piuttosto chiaro le metodologie proposte consentono di ottenere una buona stima del bilancio idrico, e quindi delle perdite, a fronte del monitoraggio in tempo reale di solo una parte delle utenze del distretto, fornendo così un utile informazione al gestore per una pianificazione ottimale della campagna di sostituzione dei contatori tradizionali con *smart meter*.

5 Conclusioni.

In questo rapporto sono state presentate due metodologie distinte che, a partire dalle serie temporali dei consumi idrici delle singole utenze appartenenti a un generico distretto, permettono di contenere le perdite idriche rispettivamente a livello di singola utenza e a livello di rete di distribuzione.

In particolare, è stato proposto un algoritmo pragmatico che, sulla base dell'andamento a passo orario dei consumi incrementali tipici delle utenze residenziali consente di generare, giornalmente, un segnale di allarme per notificare la probabile presenza di una fuga d'acqua. Per valutare l'accuratezza della metodologia proposta sono state impiegate le informazioni di consumo idrico delle utenze appartenenti al distretto idrico di Gorino Ferrarese, acquisite per mezzo di un sistema di *smart metering*. Tale algoritmo, implementato all'interno delle più innovative infrastrutture per il monitoraggio in tempo reale dei consumi idrici permetterebbe di notificare direttamente all'utente la presenza di probabili fughe d'acqua all'interno della propria abitazione, consentendo una riduzione dei volumi d'acqua dispersi in seguito a una riparazione tempestiva. Tale riduzione consentirebbe, di conseguenza, di minimizzare lo sbilanciamento tra domanda e disponibilità idrica e, al contempo, considerata l'inscindibile relazione, di ridurre anche la richiesta di risorse energetiche necessarie per recapitare l'acqua a uso potabile agli utenti finali.

Inoltre, è stata definita la procedura che a partire dalle serie temporali dei consumi idrici misurati a livello di utenza, combinata con le serie temporali delle portate entranti ed eventualmente uscenti da un distretto idrico, nonché dei volumi accumulati/rilasciati da eventuali serbatoi presenti, tramite bilancio consente di

quantificare in continuo temporale sia il livello di perdita idrica all'interno del distretto stesso, sia gli indicatori riconosciuti in letteratura tecnica per la valutazione delle performance della rete di distribuzione. Anche in questo caso sono stati riportate le elaborazioni ottenute applicando la procedura al caso studio reale di Gorino Ferrarese. In particolare, i risultati conseguiti hanno evidenziato come tale procedura rappresenti uno strumento di supporto decisionale per il gestore per pianificare le azioni di ricerca e di riduzione delle perdite di rete, peraltro concorrendo a una gestione sostenibile della risorsa idrica. L'accuratezza di tale metodologia è stata valutata anche nel caso in cui venissero a mancare alcune informazioni inerenti i consumi idrici degli utenti, a causa ad esempio del malfunzionamento degli smart meter ovvero poiché, a seguito di scelte economiche e gestionali da parte del gestore, vengano monitorate in tempo reale solo una porzione di utenze. Nella fattispecie, sempre sulla base dei dati registrati presso il distretto idrico di cui sopra, sono state determinate le prestazioni della metodologia suddetta al variare del numero e della tipologia di utenze monitorate. In questo caso, i risultati ottenuti hanno mostrato che la metodologia sviluppata consente di ottenere una buona stima del bilancio idrico, e quindi delle perdite, anche a fronte del monitoraggio in tempo reale di solo una porzione delle utenze del distretto.

6 Riferimenti bibliografici.

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017) World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248.
2. Collins, R., Kristensen, P., Thyssen, N. (2009) Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought. Office for Publications of the European Communities. doi: 10.2800/16803.
3. Xu, Q., Liu, R., Chen, Q., Li, R. (2014) Review on water leakage control in distribution networks and the associated environmental benefits. *Journal of Environmental Sciences*, 26(5): 955-961. doi: 10.1016/S1001-0742(13)60569-0.
4. Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z.B.M., Istandar, A., Singh, S. (2008) *The manager's non-revenue water handbook: a guide to understanding water losses*. Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International Development, Bangkok, Thailand.
5. Arthuraliya, A., Roberts, P., Brown, A. (2012) Yarra Valley Future Water: Residential Water Use Study. In: Summer 2012, vol. 2. Yarra ValleyWater, Victoria, Australia.
6. Heinrich, M. (2008) *Water Use in Auckland Households e Auckland Water Use Study (AWUS) Final Report*. BRANZ Project Report EC1356, Judgeford, New Zealand.
7. Puust, R., Kapelan, Z., Savić, D.A. & Koppel T. (2010) A review of methods for leakage management in pipe networks, *Urban Water Journal*, 7, 25-45.
8. Buchberger, S.G., Nadimpalli, G. (2004) Leak Estimation in Water Distribution Systems by Statistical Analysis of Flow Readings, *Journal of Water Resources Planning & Management*, 130, 321-329.
9. Boulos P.F., Wiley A.N. (2013) Can we make water systems smarter?, *Opflow*, 39, 20-22.
10. Willis, R.M., Stewart, R.A., Panuwatwanich, K., Jones, S., Kyriakides, A. (2010) Alarming visual display monitors affecting shower end use water and energy conservation in Australian residential households. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12): 1117-1127. doi: 10.1016/j.resconrec.2010.03.004.
11. Froehlich, J., Findlater, L., Ostergren, M., Ramanathan, S., Peterson, J., Wragg, I., Larson, E., Fu, F., Bai, M., Patel, S., Landay, J.A. (2012) The design and evaluation of prototype eco-feedback displays for fixture-level water usage data. In: *Pro-ceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, NY, USA, pp. 2367-2376. doi: 10.1145/2207676.2208397.
12. Sonderlund, A.L., Smith, J.R., Hutton, C., Kapelan, Z. (2014) Using smart meters for household water consumption feedback: knowns and unknowns. *Procedia Engineering*, 89: 990-997. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.216.

13. Geller, E.S., (2002) The challenge of increasing proenvironment behavior. In: Hand-book of Environmental Psychology, chapter 34. Wiley, New York, NY, USA, pp. 525-540.
14. Britton, T., Cole, G., Stewart, R., Wiskar, D. (2008) Remote diagnosis of leakage in residential households. *Water*, pp. 56-60.
15. Stewart, R.A., Willis, R., Giurco, D.P., Panuwatwanich, K., Capati, G. (2010) Web based knowledge management system: linking smart metering to the future of urban water planning. *Aust. Plan.*, 47(2): 66-74. doi: [10.1080/07293681003767769](https://doi.org/10.1080/07293681003767769).
16. DeOreo, W.B., Heaney, J.P., Mayer, P.W. (1996) Flow trace analysis to assess water use. *AWWA* 88, pp. 79-90.
17. Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A., Rizzoli, A.E. (2015) Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review. *Environ. Model. Softw.*, 72: 198-214. doi: [10.1016/j.envsoft.2015.07.012](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.07.012).
18. Wang, G., Hao, J., Ma, J., Huang, L. (2010) A new approach to intrusion detection using artificial neural networks and fuzzy clustering. *Expert Systems with Applications*, 37(9): 6225-6232. doi: 10.1016/j.eswa.2010.02.102.
19. Farah, E., Shahrour, I. (2017) Leakage Detection Using Smart Water System: Combination of Water Balance and Automated Minimum Night Flow. *Water Resources Management*, 31(15): 4821-4833. doi: [10.1007/s11269-017-1780-9](https://doi.org/10.1007/s11269-017-1780-9).
20. Hamiche, A.M., Stambouli, A.B., Flazi, S. (2016) A review of the water-energy nexus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65: 319-331. doi: [10.1016/j.rser.2016.07.020](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.020).
21. Tsolas, S.D., Karim, M. N., Hasan, M.M.F. (2018) Optimization of water-energy nexus: A network representation-based graphical approach. *Applied Energy*, 224: 330-350. doi: [10.1016/j.apenergy.2018.04.094](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.094).
22. Sanders, K.T., Webber, M.E. (2012) Evaluating the energy consumed for water use in the United States. *Environ. Res. Lett.*, 7 034034. doi: [10.1088/1748-9326/7/3/034034](https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034034).
23. International Energy Agency (2016) Water Energy Nexus. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2016ExcerptWaterEnergyNexus.pdf>.
24. Mazzolani, G., Berardi, L., Laucelli, D., Martino, R., Simone, A., Giustolisi, O. (2016) A methodology to estimate leakages in water distribution networks based on inlet flow data analysis. *Procedia Engineering*, 162: 411-418. doi: [10.1016/j.proeng.2016.11.082](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.082).
25. Mutikanga, H.E., Sharma, S.K., Vairavamoorthy, K. (2013) Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 139(2):166-174. doi: [10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000245).
26. D.M. Lavori pubblici 8 gennaio 1997, n. 99 Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature.
27. Lambert, A.; Hirner, W. (2000) Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. IWA Blue Pages.
28. Alegre H., Hirner W., Baptista J.M., Parena R., (2000) Performance Indicators for Water Supply Services, IWA Manual Best Practice, first edition, IWA Publishing, London.
29. Lambert A.O., Brown T.G., Takizawa M., Weimer D. (1999) A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems, *AQUA*, 48 (6), ISSN 0003-7214, pp. 227– 237.
30. Wrc/WSA/WCA Engineering and Operations Committee (1994) Managing leakage: UK Water industry managing leakage, report A-J. London: Wrc/WSA/WCA.
31. Butler, D. (2000) Leakage Detection and Management. Cwambran, UK: Palmer Environmental Ltd.
32. Di Natale, M., Di Nardo, A. (2017) Criteri di distrettualizzazione delle reti idriche di distribuzione. Atti della XXXVIII edizione in Tecniche per la Difesa del suolo e dall'inquinamento, Guardia Piemontese Terme (CS), 21-24 giugno 2017.
33. Cascetta, F., Di Nardo, A., Di Natale, M. (2004) Distrettualizzazione delle reti idriche: riflessioni e indicazioni metodologiche. Atti del convegno "Verso una gestione più efficace delle perdite nei sistemi idrici secondo l'approccio dell'International Water Association", Genova, ottobre 2004.

34. Di Nardo, A., Di Natale, M., Greco, R., Santonastaso, G.F. (2012) Indici sintetici per la distrettualizzazione di una rete idrica di distribuzione. XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Brescia, 10-15 settembre 2012.
35. Mays, L.W. (2000) Water distribution systems handbook, NewYork, McGraw-Hill.
36. Tzatchkov, V.G., Alcocer-Yamanaka, V.H., Ortiz, V.B. (2006) Graph theory based algorithms for water distribution network sectorization projects. In: Proceedings of 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium. Cincinnati, Ohio, USA.
37. Perelman, L. and Ostfeld, A. (2011) Topological clustering for water distribution systems analysis. *Environmental Modelling & Software*, 26, 969-972.
38. Di Nardo, A. and Di Natale, M. (2011) A heuristic design support methodology based on graph theory for district metering of water supply networks. *Engineering Optimization*, 43 (2), 193-211.
39. Alvisi S. and Franchini M. (2014) A heuristic procedure for the automatic creation of district metered areas in water distribution systems, *Urban Water Journal*, 11:2, 137-159, doi: 10.1080/1573062X.2013.768681.
40. Di Nardo, A., Di Natale, M., Santonastaso, G.F., Venticinque, S. (2011) Graph partitioning for automatic sectorization of a water distribution system. In: D. Savic, Z. Kapelan and D. Butler, eds. Proceedings of computer and control in water industry CCWI, 5– 7 September 2011. Exeter, UK: University of Exeter, 841-846.
41. Diao, K., Zhou, Y., and Rauch, W. (2013) Automated creation of district metered areas boundaries in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139 (2), 184-190.
42. Kanakoudis, V., Tsitsifli, S. (2014) Using the bimonthly water balance of a non-fully monitored water distribution network with seasonal water demand peaks to define its actual NRW level: the case of Kos town, Greece. *Urban Water J.*, 11(5): 348-360. doi: [10.1080/1573062X.2013.806563](https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.806563).
43. Fontanazza, C.M., Freni, G., La Loggia, G., Notaro, V., Puleo, V. (2012) A composite indicator for water meter replacement in an urban distribution network. *Urban Water J.*, 9(6): 419-428. doi: [10.1080/1573062X.2012.690434](https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.690434).
44. Fortunato, A., Arena, C., Mazzola, M.R. (2015) Evaluation of statistical sampling for the assessment of residential consumption totals in water distribution networks. *Water Science and Technology: Water Supply.*, 15(1): 173-180. doi: 10.2166/ws.2014.102.
45. Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, 13 settembre 2017, Memoria dell'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico per l'indagine conoscitiva sull'emergenza idrica e sulle misure necessarie per affrontarla svolta dalla Commissione Ambiente, Territorio e Lavori pubblici della Camera dei Deputati, 623/2017/I/IDR.
46. Loureiro, D., Amado, C., Martins, A., Vitorino, D., Mamade, A., Coelho, S.T. (2016) Water distribution systems flow monitoring and anomalous event detection: A practical approach. *Urban Water J.*, 13(3): 242-252. doi: [10.1080/1573062X.2014.988733](https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.988733).
47. Bakker, M., Vreeburg, J. H. G., van Schagen, K. M., Rietveld, L. C. (2013) A fully adaptive forecasting model for short-term drinking water demand. *Environ. Model. Softw.*, 48: 141–151. doi: 10.1016/j.envsoft.2013.06.012.
48. Pacchin, E., Alvisi, S., Franchini, M. (2017) A short-term water demand forecasting model using a moving window on previously observed data. *Water*, 9(3): 172. doi: 10.3390/w9030172.

7 Abbreviazioni ed acronimi.

ARERA - Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente

BI – Bilancio Idrico

CARL - Current Annual Real Losses

CF - Correction Factor

DMA - District Metered Area
ICT - Information Communication Technology
IEA - International Energy Agency
ILI - Infrastructure Leakage Index
IWA - International Water Association
MAPE - Mean Absolute Percentage Error
RMR - Remote Meter Reading
SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition
SII - Servizio Idrico Integrato
SM – Selection Method
UARL - Unavoidable Annual Real Losses

Appendice.

Curriculum Vitae dei responsabili scientifici del gruppo di lavoro:

Stefano Alvisi

Stefano Alvisi è Professore associato (settore scientifico-disciplinare ICAR/02 – Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia) presso il Dipartimento di Ingegneria, e svolge attività didattica nel Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, dell'Università degli Studi di Ferrara. E' autore/coautore di oltre 100 pubblicazioni di cui la metà su riviste internazionali ISI. Ha lavorato nel contesto di diversi progetti di ricerca europei, nazionali e locali (POWADIMA-POTable Water DIstribution MAnagement-Contract Number EVK1-CT-2000-00084; PRIN2008; PRIN2012) e in convenzioni con enti locali (ad esempio HERA S.p.A., TEA Acque s.r.l.). E' Associate Editor della rivista scientifica internazionale Urban Water Journal e guest editor della rivista scientifica internazionale Water . E' stato membro del Comitato Scientifico e/o chairman di diversi convegni internazionali e svolge intensa attività come revisore per oltre 20 riviste internazionali ISI.

E' stato insignito (1) del riconoscimento di eccellenza per il miglior articolo presentato nel contesto della "Battle of Water Calibration Network (BWCN)", in occasione della conferenza internazionale WDSA2010, (2) del premio conferito dalla Association of Logic Programming per il miglior articolo "Optimal Placement of Valves in a Water Distribution Network with CLP(FD)" presentato alla conferenza internazionale ICLP2011 e (3) del riconoscimento di eccellenza per il miglior lavoro nel contesto della "Battle of Background leakage Assessment for Water networks (BBLAWN)", in occasione della conferenza internazionale WDSA2014. E' stato inoltre insignito del riconoscimento di outstanding reviewer dalle riviste scientifiche internazionali Environmental Modelling and Software (Elsevier) e Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE).

Marco Franchini

Il dott. ing. Marco Franchini è Professore di I Fascia dal 2001; insegna Costruzioni Idrauliche presso la Facoltà di Ingegneria di Ferrara; è stato presidente del Consiglio Unificato dei corsi di laurea di Ingegneria Civile e Ambientale (L), Ingegneria Civile (LM) negli anni 2001-2015; è stato dal 1992 al 2002 Editore Associato della rivista internazionale Journal of Hydrology; è attualmente editore associato della rivista Water (MDPI). E' stato segretario dal 1992 al 1996 del settore "Surface Hydrology" dell'European Geophysical Society (EGS). E' stato responsabile dell'U.O. 1.49 nell'ambito del progetto VAPI-RIVERS finanziato dal GNDCI. E' revisore per conto di più di dieci riviste internazionali ISI. Complessivamente ha coordinato e gestito circa 50 progetti di ricerca e convenzioni, nazionali e internazionali. E' presidente del Centro Studi Sistemi Acquedottistici. E' coordinatore scientifico del Consiglio Scientifico del Laboratorio T&A Tech dell'Università di Ferrara. E' Ricercatore Associato del CNR-IRPI di Perugia. E' autore di oltre 240 pubblicazioni su atti di convegni e riviste, sia nazionali, sia internazionali. E' stato membro del comitato scientifico di una decina di convegni nazionali e internazionali. Ha ricevuto i seguenti riconoscimenti: (1) "Certificate of excellence to recognize excellence and outstanding achievement as the best paper nominee in the Battle of the Water Calibration Network (BWCN)" - Tucson, Arizona, 2010; (2) ICLP 2011 Best paper Award, Association for Logic Programming, (3) Certificate of excellence to recognize excellence and outstanding achievement as the best paper nominee in the Battle of Background leakage assessment for Water Networks" - Bari, Italia, 2014, (4) The program chair of the international Joint conference on Artificial intelligence, Best Paper in sister conference, 2013, Beijing, Cina.